



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA**

**CÓMPUTO APLICADO**

## **EVALUACIÓN DE RIESGOS DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN CULTIVOS USANDO DATOS CLIMÁTICOS EN TIEMPO REAL**

**VICENTE VARELA LOZA**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE :**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

**2014**

La presente tesis titulada: **Evaluación de riesgos de plagas y enfermedades en cultivos usando datos climáticos en tiempo real**, realizada por el alumno: **Vicente Varela Loza**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
SOCIOECONOMÍA ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA**

**CÓMPUTO APLICADO**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



JUAN R. BAUER MENGELBERG

ASESOR



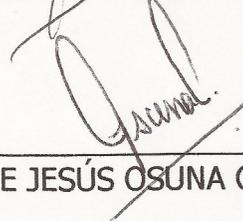
DAVID H. DEL VALLE PANIAGUA

ASESOR



SERGIO RAMÍREZ ROJAS

ASESOR



FELIPE DE JESÚS OSUNA CANIZALEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, 27 de Marzo de 2014

# EVALUACIÓN DE RIESGOS DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN CULTIVOS USANDO DATOS CLIMÁTICOS EN TIEMPO REAL

Vicente Varela Loza, MC.  
Colegio de Postgraduados, 2014

El proyecto de investigación se enfocó a mejorar y ampliar un servicio que presta el Campo Experimental Zacatepec del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para ofrecer a los productores del estado de Morelos información sobre riesgos fitosanitarios, tanto de enfermedades como de plagas. Se plantearon como objetivos la automatización de los cálculos de riesgos y el modo de divulgar estos riesgos. Se diseñó y desarrolló un sistema de información que procesa la información recabada por la red de estaciones agrometeorológicas (EAM) del estado de Morelos, operada por el INIFAP, y la almacena en estructuras convenientes para su uso por diversas aplicaciones, que incluyen el cálculo de riesgos tanto de enfermedades fitosanitarias como del desarrollo fisiológico de plagas. Los interesados pueden consultar variables climáticas en cualquier lugar del estado indicando su posición en un mapa o proporcionando sus coordenadas. Los valores de las variables climáticas en ese lugar se obtienen interpolando los correspondientes valores reportados por las estaciones más cercanas. El sistema tiene características que permiten que se use en cualquier red de estaciones o área geográfica. Para divulgar los riesgos se implementó un sistema que permite consultarlos para cualquier lugar de Morelos; también tiene un registro de los cultivos de cada parcela de los productores, lo que permite el envío de advertencias de riesgos de enfermedades a los productores que tienen algún cultivo amenazado por la enfermedad. Estas advertencias se hacen vía mensajes cortos (SMS siglas de Short Message Service) o correos electrónicos cada vez que se detecta un riesgo adicional a los previamente establecidos. También se desarrolló el modelo que permite el cálculo del comportamiento fisiológico de plagas basado en los datos climáticos del año análogo al año actual indicado por la Servicio Meteorológico Nacional.

**Palabras Clave:** Red de estaciones agrometeorológicas, valores interpolados, agente informático, base de datos de clima, sistema automatizado, agentes en FLAG.

## **EVALUATION OF RISKS OF PLAGUES AND DISEASES IN CROPS USING REAL TIME CLIMATE DATA**

**Vicente Varela Loza, MC.  
Colegio de Postgraduados, 2014**

The research Project addressed improvements and enlargement of a service operated by the Zacatepec Experimental Station of INIFAP to offer producers of the State of Morelos information regarding phytosanitary risks of diseases and plagues. Objectives included the determination of such risks as well as their diffusion to producers. An information system was designed and implemented to process climate information gathered by a network of agrometeorological stations in the State of Morelos, operated by INIFAP, to store it in convenient data structures for its use in several applications. The system contains modules to compute risks of diseases as well as the development of plagues. Interested parties can query climate variables at any place in Morelos State indicating its position on a map or specifying its coordinates. Values of the climate variables at that place are obtained through an interpolation of the corresponding values at the nearest stations. The system has the features that enable it to serve any network of such stations or geographic area. It also computes risks of diseases whenever new climate data is available. To divulge these risks, the system offers queries at any place of the state, but also has a register of the crops planted at every location of the producers, so that these can be warned of risks of diseases should they have a crop threatened by the disease. The warnings are sent via SMS or email whenever a new risk is detected. The use of mathematic models using the FLAG technology is a possible future tool to inform producers, so the model concerning the agents in FLAG was developed to obtain up to date information about the variables of the producers' business contexts. Additionally, the model that computes the physiological behavior of plagues based on climate data of the year analogous to the current year, indicated yearly by the National Weather Forecast Service, was developed.

**Keywords:** Network of climate stations, interpolated values, information agent, climate database, automated system, agents in FLAG.

## **DEDICATORIAS**

A mi hijo Emilio Said por ser el motor principal para la realización de mis metas personales y profesionales.

A mi esposa Sandra por el apoyo incondicional en mi superación profesional y personal.

A mis padres Vicente y Paula por su apoyo moral, por la formación e impulso para buscar siempre la superación.

A mis hermanas por el apoyo moral y personal, por ser el impulso para mi superación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al CONACYT por la beca para realizar los estudios de maestría del primer autor del trabajo con número de registro 438718.

Al INIFAP Campo Experimental Zacatepec, Morelos por proporcionar los requisitos del sistema y los datos para las pruebas de los programas.

Al Dr. Juan R. Bauer Mengelberg por ser un excelente consejero y por ser parte fundamental en mi formación como Maestro en Ciencias, por los conocimientos enseñados, por la enseñanza para resolver los problemas científicos y de la vida y por las asesorías en mi investigación.

Al Dr. Sergio Ramírez Rojas por el aporte de información en mi trabajo de investigación, por su amistad, por los consejos personales y profesionales brindados, por la motivación inculcada para mi superación.

Al Dr. Felipe de Jesús Osuna Canizález y al Dr. David Hebert del Valle Paniagua, por ser parte fundamental en mi consejo particular, por los consejos personales y profesionales.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	III
<b>Palabras Clave</b> .....	III
<b>ABSTRACT</b> .....	IV
<b>Keywords</b> .....	IV
<b>DEDICATORIAS</b> .....	V
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	VI
<b>CONTENIDO</b> .....	VII
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	XI
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	XIII
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I. LOS AGENTES DE BÚSQUEDA DEL FLAG</b> .....	6
1.1 El paquete y servicio de información FLAG .....	6
El módulo de agentes en el FLAG .....	9
1.2 Estudio del proceso similar en la versión anterior de FLAG .....	10
1.3 Asignación de la fuente de información a las variables del mundo real .....	10
1.3.1 El modelo de datos de agentes de búsqueda .....	11
1.3.2 El programa que actualiza los agentes .....	16
1.3.2.1 Agregar un nuevo agente .....	17
1.3.2.2 Modificar un agente .....	19
1.3.2.3 Eliminar un agente .....	19
1.3.3 Asignación de variables del mundo real a los agentes .....	20
1.3.3.1 Agregar nueva relación entre agente y variable del mundo real .....	20
1.3.3.2 Modificar relación entre agente y variable del mundo real .....	25
1.3.3.3 Eliminar la relación entre un agente y una variable del mundo real .....	26
1.4 Determinación de la periodicidad con la que se obtienen valores de las variables del mundo real .....	26
1.5 Consecución de valores .....	27
1.6 Envío concurrente de agentes de búsqueda .....	29
1.7 Comunicación con el proceso que invoca ejecuciones .....	30

1.8 Colocación de los nuevos valores conseguidos por los agentes .....	32
1.9 Lectura de los nuevos valores por parte del FLAG .....	32
1.10 Conclusiones relacionadas con el módulo de agentes del FLAG .....	33
<b>CAPITULO II. ACTUALIZACIÓN INSTANTÁNEA DE VARIABLES DE CLIMA.....</b>	<b>35</b>
2.1. Introducción a variables de clima .....	35
2.2 Administración de estaciones agrometeorológicas .....	37
2.2.1 Tabla estaciones .....	40
2.2.2 Agregar nuevas estaciones agrometeorológicas.....	41
2.2.3 Modificar el registro de una estación agrometeorológica .....	42
2.2.4 Eliminación de una estación agrometeorológica .....	43
2.3 Descarga de archivos de clima .....	44
2.4 Agente para la descarga de archivos de clima.....	45
2.5 Modelo de datos.....	47
2.6 Actualización de la base de datos.....	51
2.7 El archivo anual para cada estación agrometeorológica .....	52
2.8 Hoja de cálculo de horas puntuales .....	53
<b>CAPITULO III. DIVULGACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE CLIMA.....</b>	<b>56</b>
3.1. Introducción.....	56
3.2 Consulta de valores a detalle de una EAM .....	56
3.3 Consulta de variables de clima en cualquier lugar del estado de Morelos ...	58
3.3.1 Indicación del punto geográfico para el cual desea conocer el clima.....	60
3.3.2 Determinación de las coordenadas del punto seleccionado en el mapa ...	64
3.3.3 Interpolación de los datos registrados por las EAM .....	65
11.- Determinación de las cinco estaciones más próximas al punto de interés ..	66
12.- Se calculan los “pesos” que se asignarán a estas estaciones .....	68
3.4 Posibles usos de la información de clima.....	71
<b>CAPITULO IV. CÁLCULO DE RIESGOS DE ENFERMEDADES .....</b>	<b>72</b>
4.1 Introducción al cálculo de riesgos de enfermedades .....	72
4.2 Determinación de riesgos de enfermedades .....	72

4.2.1 Tabla enfermedad_anio_mes.....	75
4.2.2 Tabla: catálogo_enfermedades.....	75
4.2.3 Administración del catalogo_enfermedades.....	76
4.3 Definición y administración del modelo de datos .....	79
4.3.1 Tabla cultivo .....	80
4.3.2 Administración del catálogo de cultivos.....	80
4.3.3 Tabla productor .....	83
4.3.4 Administración del catálogo de productores.....	85
4.3.5 Tabla parcela .....	88
4.3.6 Administración de parcelas .....	89
4.3.7 Tabla enfermedad_cultivo .....	93
4.3.8 Administración de la relación entre enfermedades y cultivos.....	93
4.3.9 Tabla nuevos_riesgos_ef .....	96
4.3.10 Tabla riesgos_no_informados .....	96
4.3.11 Tabla avisos_generados .....	97
4.4 Consulta de riesgos para el desarrollo de enfermedades .....	98
4.4.1 Consulta de productores o usuarios registrados .....	98
4.4.2 Consulta general .....	100
4.5 Envío de alertas .....	101
<b>CAPITULO V. DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DE PLAGAS</b> .....	<b>105</b>
5.1 Introducción al comportamiento fisiológico de plagas .....	105
5.2 Modelo de datos para le predicción del comportamiento fisiológico de plagas .....	106
5.2.1 Tabla plagas.....	107
5.2.2 Administración del catálogo de plagas .....	108
5.2.3 Tabla estadios.....	111
5.2.4 Administración del catálogo de estadios .....	112
5.2.5 Tabla plaga_estadio.....	114
5.2.6 Administración del catálogo plaga_estadio .....	115

5.2.7 Tabla estación_plaga_día .....	118
5.2.8 La tabla estaciones_analogas.....	119
5.2.9 Administración de estaciones análogas .....	120
5.2.10 Estacion_mes_analogo.....	123
5.3 Simulación del comportamiento fisiológico de las plagas.....	124
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	129
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	131
<b>ANEXOS</b> .....	133

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Distribución de las estaciones agrometeorológicas en el estado de Morelos .....	1
Figura 2.- Diagrama del servicio FLAG.....	8
Figura 3.- Administración de agentes .....	17
Figura 4.- Agregar un nuevo agente de búsqueda.....	18
Figura 5.- Fuente de información utilizada por otro agente.....	18
Figura 6.- Eliminación de un agente.....	19
Figura 7.- Interfaz principal para la asignación de VMR a los agentes.....	20
Figura 8.- Agregar relación entre agente y VMR.....	21
Figura 9.- Captura de parámetros para actualizar valores de VMR.....	22
Figura 10.- Valor encontrado en la fuente de información.....	23
Figura 11.- Confirmación del valor encontrado en la fuente de información.....	24
Figura 12.- Configuración de parámetros de frecuencia de búsqueda.....	24
Figura 13.- Ubicación de las estaciones agrometeorológicas de la red.....	37
Figura 14.- Selección de la dirección del servidor y el directorio local de trabajo.....	39
Figura 15.- Cambio de la dirección del servidor y el directorio local de trabajo.....	39
Figura 16.- Administración total de estaciones agrometeorológicas.....	40
Figura 17.- Agregar una nueva estación agrometeorológica.....	42
Figura 18.- Selección de registros de estaciones agrometeorológicas.....	43
Figura 19.- Eliminación de una estación agrometeorológica.....	44
Figura 20.- Elaboración de hojas de cálculo de horas puntuales.....	54
Figura 21.- Consulta de mediciones de clima registradas cada 15 minutos.....	57
Figura 22.- Valores de variables registradas cada 15 minutos.....	58
Figura 23.- Interfaz para indicar las variables y el rango de días de interés.....	59
Figura 24.- Interfaz para la selección del punto de interés en la consulta de datos climatológicos.....	61
Figura 25.- Selección de un punto con coordenadas geográficas fuera del estado de Morelos.....	62
Figura 26.- Ventana donde se despliegan los resultados de la consulta de datos de las variables de clima.....	62
Figura 27.- Resultado detallado de la consulta a clima del punto de interés.....	63
Figura 28.- Administración para la visualización de variables calculadas.....	64
Figura 29.- Interfaz principal para la administración del catálogo de enfermedades fitosanitarias.....	77
Figura 30.- Interfaz para registrar una nueva enfermedad.....	77
Figura 31.- Modificación de los parámetros de un registro del catálogo de enfermedades.....	78
Figura 32.- Forma principal para la administración de cultivos.....	81
Figura 33.- Agregar un nuevo registro de cultivo.....	81
Figura 34.- Confirmación para eliminar un registro de cultivo.....	82
Figura 35.- Modificación de los datos de un cultivo.....	83
Figura 36.- Forma principal para la administración del catálogo de productores.....	85
Figura 37.- Agregar nuevos productores.....	86
Figura 38.- Modificar registro de productor.....	87
Figura 39.- Confirmación para la eliminación de un registro del productor.....	87
Figura 40.- Forma principal para la administración de parcelas.....	90
Figura 41.- Agregar nuevo registro de parcela.....	91
Figura 42.- Modificación del registro de una parcela.....	92
Figura 43.- Confirmación para eliminar el registro de una parcela.....	92
Figura 44.- Interfaz principal para la administración del catálogo enfermedad-cultivo.....	93
Figura 45.- Interfaz para agregar una relación entre enfermedad y cultivo.....	94
Figura 46.- Confirmación para la eliminar registro de enfermedad asociada a un cultivo.....	95
Figura 47.- Interfaz principal para la consulta de riesgos.....	98
Figura 48.- Interfaz para la consulta de alertas.....	99
Figura 49.- Lista de alertas de riesgos para el desarrollo de enfermedades.....	99
Figura 50.- Interfaz principal para la consulta de riesgos en enfermedades.....	100
Figura 51.- Selección del lugar de interés para el cálculo de riesgos de enfermedades.....	101
Figura 52.- Interfaz principal para la administración de plagas.....	108
Figura 53.- Agregar un registro de plaga.....	109

Figura 54.- Eliminación de un registro de plaga .....	110
Figura 55.- Modificación de un registro de plaga. ....	111
Figura 56.- Administración del catálogo de estadios. ....	112
Figura 57.- Registro de un estadio. ....	113
Figura 58.- Eliminación de un registro de estadio. ....	113
Figura 59.- Modificación de un registro de estadio.....	114
Figura 60.- Administración del catálogo plaga_estadio. ....	116
Figura 61.- Agregar registro de plaga_estadio.....	117
Figura 62.- Modificación de los parámetros de plaga_estadio.....	118
Figura 63.- Interfaz principal para la administración de estaciones análogas.....	120
Figura 64.- Agregar registro de estación análoga. ....	121
Figura 65.- Modificación del registro de una estación análoga. ....	122
Figura 66.- Eliminación de un registro de estación análoga. ....	123
Figura 67.- Selección de años análogos. ....	125
Figura 68.- Parámetros de inicio de simulación.....	126
Figura 69.- Resultado de la simulación del comportamiento fisiológico de una plaga. ....	128

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Los campos de la tabla REALVARIABLES .....	12
Tabla 2.- Tabla Agente.....	14
Tabla 3.- Red de estaciones agrometeorológicas del estado de Morelos.....	38
Tabla 4. Tabla ESTACIONES.....	41
Tabla 5.- Tabla EST001(correspondiente a la estación número 1). .....	49
Tabla 6.- Variables registradas por las EAM.....	56
Tabla 7.- Variables calculadas por el sistema.....	59
Tabla 8.- Tabla enfermedad_anio_mes. ....	75
Tabla 9.- Tabla catalogo_enfermedades.....	76
Tabla 10.- Tabla cultivo. ....	80
Tabla 11.- Tabla productor.....	84
Tabla 12.- Tabla parcela.....	88
Tabla 13.- Tabla enfermedad_cultivo. ....	93
Tabla 14.- Tabla nuevos_riesgos_ef. ....	96
Tabla 15.- Tabla riesgos_no_informados.....	97
Tabla 16.- Tabla avisos_generados.....	97
Tabla 17.- Plagas. ....	107
Tabla 18.- Estadios. ....	111
Tabla 19.- Plaga_estadio. ....	115
Tabla 20.- Estacion_plaga_dia.....	118
Tabla 21.- Estaciones_analogas.....	119
Tabla 22.- Estacion_mes_analogo. ....	123

## INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación que se describe en esta tesis surgió de un análisis del servicio que presta el Campo Experimental Zacatepec perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) a productores de su zona de influencia en relación con los riesgos fitosanitarios.

En 2006, la Fundación Produce Morelos A.C. y el Campo Experimental Zacatepec, instalaron una red de 25 estaciones agrometeorológicas (EAM), las cuales están distribuidas en 25 de los 33 municipios de Morelos, como se ilustra en la Figura 1.

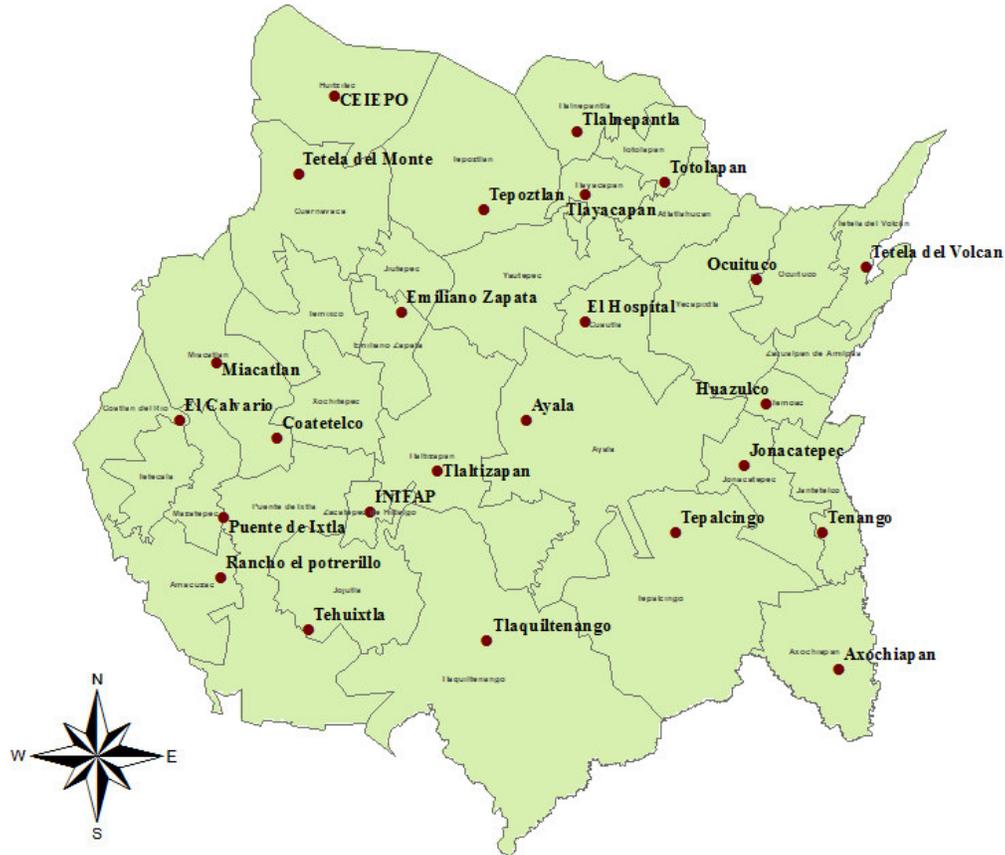


Figura 1.- Distribución de las estaciones agrometeorológicas en el estado de Morelos

La red de estaciones es operada y administrada por el INIFAP y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Cada una de estas estaciones registra e informa cada 15 minutos

las siguientes variables: precipitación; dirección, velocidad y velocidad máxima del viento; humedad de la hoja; radiación solar; humedad relativa; temperatura, temperatura máxima y mínima. Estos datos se registran en sendas hojas de cálculo por día y por estación. Se almacenan en archivos tipo CSV (formato de valores separados por comas), en un servidor ubicado en el IMTA.

A partir de esta información, se calculan riesgos de enfermedades fitosanitarias y plagas, y se divulga la información a productores vía mapas geográficos publicados en la página del Sistema de Alerta Fitosanitaria del Estado de Morelos ([www.siafemor.com.mx](http://www.siafemor.com.mx)).

El desarrollo de cada enfermedad requiere una condición favorable de humedad relativa (%) y temperatura (°C) durante un número de horas consecutivas. Por ejemplo *Cercospora zeae-maydis* requiere el 100% de humedad relativa durante 36 horas consecutivas y una temperatura entre los 25 °C y 30 °C (Paul y Munkvold, 2005). En el INIFAP Campo Experimental Zacatepec se realiza este cálculo de forma manual, de modo que este proceso consume muchos recursos tanto materiales como humanos.

En forma similar, los rangos de temperatura que se presentan en el transcurso del día influyen en el comportamiento fisiológico de las plagas. De ese modo, la estimación del comportamiento futuro de plagas también requiere los datos de clima, por lo que se ejecutan modelos dinámicos; al igual que para el caso de las enfermedades, estos procesos no habían sido automatizados.

En 2012 el Campo Experimental Zacatepec publicó el Manual del usuario del sistema de alerta fitosanitaria de Morelos (Ramírez *et al.*, 2012). El sistema proporciona información de riesgo de enfermedades mediante mapas mensuales que muestran los niveles de riesgo según los días con condiciones favorables al desarrollo de la enfermedad: de 1 a 10 días, bajo; de 11 a 20 días, medio; y el riesgo es alto si hay más de 20 días. Para elaborar estos mapas, un operador descarga diariamente, vía Internet, una por una las hojas de cálculo actualizadas por las EAM. Para el cálculo de riesgos (y otras aplicaciones) sólo se utilizan los datos de “horas completas” (de las 0 horas hasta las 23 horas), para lo cual se crean hojas de cálculo por estación y día con datos de las horas cerradas. Este proceso, así como el mencionado de la descarga de las hojas de cálculo.

Se invoca para cada uno de los procesos y para cada estación individualmente. Además, este servicio se proporciona en forma mensual, lo que limita su utilidad a los productores.

Estas circunstancias indicaban que estos servicios ofrecían posibilidades en cuanto a proporcionar más información, pero en especial con mayor frecuencia, por lo que, en conjunción con el Consejo particular, se formuló el objetivo de esta investigación: mejorar el servicio a productores en tres aspectos:

- Incrementar la frecuencia de actualización;
- Disminuir el recurso humano involucrado necesario para ofrecer el servicio;
- Ofrecer los riesgos a mayor detalle: donde fuera posible a nivel de productor-parcela-cultivo.

Las actividades para obtener avances en los dos primeros aspectos se definieron al inicio del proyecto y sufrieron pocas modificaciones. Por lo tanto los aspectos del trabajo para lograrlos se definieron del siguiente modo: automatizar el registro de la información climática y su proceso, En particular, definir los pasos necesarios e implementarlos. Lo que haría que se satisficiera el segundo objetivo.

El tercer aspecto ofreció mayores dificultades en cuanto a la especificación de las dimensiones que se mejorarían. Se formuló un objetivo un tanto ambicioso, que constaba en usar un servicio tipo FLAG para ofrecer información en tiempo real a los productores vía modelos matemáticos elaborados por cada uno de los productores. El servicio FLAG se describe a detalle en el Capítulo I que versa precisamente sobre este tema.

De ese modo, se formuló el proyecto de investigación en tres componentes:

1. Participar con el trabajo de investigación de otro alumno (Rafael Vega Ruiz) en la elaboración de una nueva versión, ahora sí completa, del paquete FLAG. El componente que formaría parte del proyecto de investigación consistiría en diseñar e implementar

una nueva versión del módulo de agentes informáticos, que es el encargado de conseguir los valores actualizados de las variables del entorno de los clientes del servicio FLAG.

2. Automatizar el proceso que recibe los datos de clima registrados por las EAM de la red y almacenarlos en estructuras convenientes para sus diversos usos.
3. Formular e implementar procesos que resultarían en la determinación de riesgos fitosanitarios y su divulgación a los productores, incluyendo:
  - a. Consultas específicas
  - b. Mapas actualizados
  - c. Mensajes enviados a los productores (inicialmente formulados por las alarmas del FLAG).

Durante el transcurso de la investigación, el tercer aspecto sufrió cambios. Se decidió que no se podrían implementar los modelos del FLAG, y se sustituyeron estas advertencias por otras, que se emitirían de acuerdo a un esquema distinto: se actualizaría una base de datos de productores, con sus parcelas y los cultivos en cada una de ellas, y cuando apareciera un riesgo *nuevo* de enfermedades fitosanitarias, se enviarían avisos por los canales de comunicación convenientes (incluyendo mensajes de texto mediante celulares y correos electrónicos) a los productores a los que pudieran afectar dichos riesgos.

En cuanto a la determinación de riesgos de plagas, se implementó el mismo método que usa en la actualidad el Campo Experimental Zacatepec, usando para ello los denominados “años análogos” al año actual indicados por el Servicio Meteorológico Nacional.

En base a lo descrito en los párrafos anteriores, la investigación se dividió en cinco módulos:

- I. Colaboración con Rafael Vega Ruiz en la elaboración de una nueva versión del paquete FLAG; en particular, la definición actualizada y la implementación del módulo de agentes de búsqueda.

- II. Automatización de la actualización de datos climáticos.
- III. Divulgación de información sobre clima.
- IV. Determinación y divulgación de riesgos de enfermedades.
- V. Determinación y divulgación de riesgos de plagas.

Esto a su vez resultó en la organización de esta tesis en cinco partes, con los capítulos que se indican para cada una de ellas.

Capítulo I. Los agentes de búsqueda del FLAG

Capítulo II. Actualización instantánea de variables de clima

Capítulo III. Consultas a clima

Capítulo IV. Cálculo de riesgos de enfermedades

Capítulo V. Determinación del comportamiento fisiológico de plagas

## **CAPÍTULO I. LOS AGENTES DE BÚSQUEDA DEL FLAG**

### **1.1 El paquete y servicio de información FLAG**

El Dr. Bauer con algunos de sus alumnos diseñaron un servicio de información a sus clientes, quienes formulan modelos matemáticos que permitían evaluar el impacto de cambios en las variables del entorno de agronegocios (o cualquier tipo de empresa) sobre ciertos indicadores. El nombre del servicio, FLAG (Flujo de efectivo en agronegocios) no implica alguna limitante en cuanto al tipo de aplicaciones o modelos. En los últimos años se elaboró una versión del paquete que permitía ofrecer ese tipo de servicio. La descripción del FLAG se puede ver en “An Informing Service Based on Models Defined by Its Clients” (Bauer, 2010).

Puesto que es la base de todo el servicio, se describe primero lo que constituye el modelo de un cliente. Se trata de un conjunto de variables y fórmulas que permiten que algunas de ellas se calculen en función de otras. El modelo contiene variables del cliente (VCLI) que reflejan datos propios de su negocio, a las cuales se agregan VMR (variables del mundo real) que representan datos sobre los cuales no tiene control y cuyos valores estarán dados por fenómenos ajenos a sus actividades. Es decir, se trata de datos de su entorno de negocio que pueden tener impactos sobre diferentes aspectos del mismo. Por ejemplo, el precio de un insumo afectará varios aspectos de su negocio, pero el valor de dicho precio está dado por fenómenos ajenos al propietario del negocio.

El modelo de un cliente incluirá datos de su negocio: ha sembradas, tipos de cultivo, etc. Estos datos los proporciona el cliente. También habrá variables que se calculan a partir de otras. Por ejemplo, la cantidad de semilla podría ser el producto de las ha sembradas con ese cultivo por la cantidad de semilla que se necesita por ha. Este tipo de variable se denomina una variable calculada, y tendrá una “fórmula” que permite obtener sus valores a partir de la de sus operandos. Estos operandos incluyen las VMR que decida utilizar el cliente, pero siempre serán de las que ofrece el servicio.

Las variables del FLAG en realidad son vectores de 24 componentes; a cada uno de éstos se les llama períodos, que pueden reflejar alguna unidad de tiempo pero también pueden tener otros usos. Adicionalmente, hay variables escalares y aleatorias; estas últimas sólo pueden tener una distribución de probabilidad discreta con un máximo de 4 valores. No hay ningún motivo para esta restricción; se trata de una decisión del diseño del paquete.

El servicio ofrece las variables del mundo real porque las solicitaron algunos clientes. También habrá variables calculadas del mundo real, cuyos valores se obtienen con sus respectivas fórmulas, basadas en otras VMR. Por ejemplo la cotización del euro en pesos mexicanos se podría calcular basada en otras 2 VMR: la relación euro-dólar y el tipo de cambio dólar-mxn (peso mexicano).

La estructura de una fórmula en FLAG es la siguiente: se agrupan las operaciones en subtotales, que a su vez se calculan a través de operaciones con sus operandos. El máximo de subtotales es 4, y un subtotal no puede tener más de 4 operandos. Las operaciones implementadas son: Suma, resta, producto, división, mínimo, máximo y algunas de tipo estadístico como la media, varianza, desviación estándar, moda y mediana. Naturalmente estas últimas sólo se aplican a variables aleatorias.

Hay una aritmética de variables aleatorias que el lector interesado puede consultar en el citado artículo de Bauer, o en un futuro próximo, en la tesis de Rafael Vega, que versa precisamente sobre el paquete y servicio FLAG.

La función del FLAG es proporcionar a sus clientes información actualizada pero de un modo que le permita al interesado reaccionar a los cambios en sus indicadores. Por ejemplo, el FLAG detecta una variación en el precio de un producto en el mercado. Como consecuencia del cambio del valor de esta variable (VMR) se ejecuta el modelo del cliente, es decir, se recalculan las variables a partir de sus fórmulas. El cliente podrá consultar su modelo, pero el FLAG también permite a un cliente solicitar que se le avise con urgencia de algún cambio que considera vital para sus decisiones. Este módulo del FLAG recibe el nombre de “alarmas”. Detalles de estas alarmas se pueden consultar en Velázquez (2009), y en Bauer y Velázquez (2010).

Por lo tanto, el servicio que brinda FLAG a sus clientes se puede esquematizar del siguiente modo:

- Se consiguen valores actualizados de las VMR ofrecidas a clientes;
- A partir de los cambios, se determinan cuáles de los modelos se deben recalcular como consecuencia de dichos cambios. Para esto, el FLAG permite a sus clientes determinar criterios de ejecución mediante los cuales indica las circunstancias en las cuales se deben recalcular sus variables;
- Se ejecutan los modelos indicados;
- Como consecuencia de las ejecuciones de los modelos, pueden surgir necesidades de informar en forma urgente a los clientes, lo que dará lugar a una alarma, que se le hace llegar por medio de un teléfono o el correo electrónico.

Como se desprende de esta descripción, el corazón del FLAG es la obtención de los valores actualizados de las variables que ofrece a sus clientes. Por lo tanto constituye un componente del llamado “motor” del FLAG, que es el ilustrado en la Figura 2 y que consiste en obtener valores actualizados de las VMR y procesarlos del modo indicado por cada uno de los clientes del servicio.

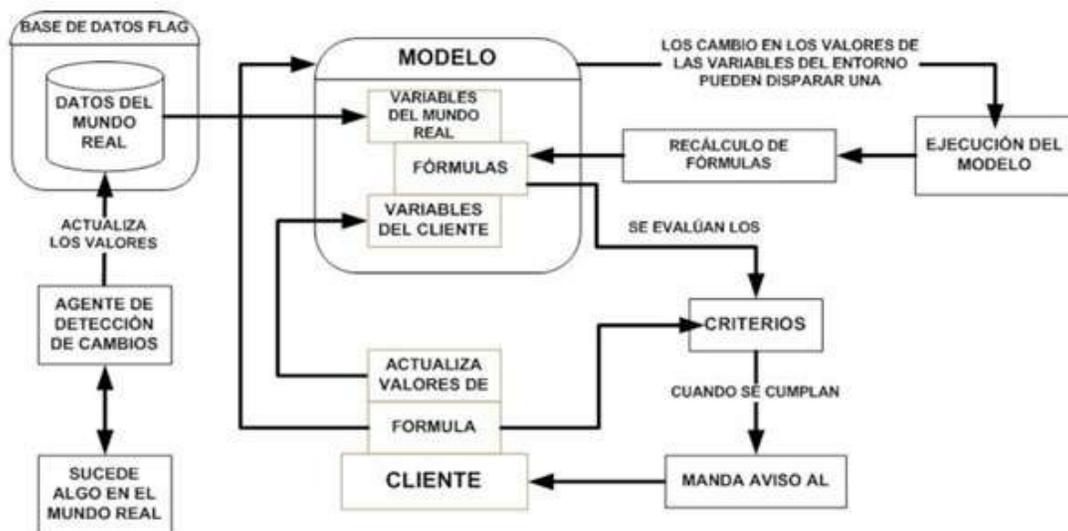


Figura 2.- Diagrama del servicio FLAG.

La consecución de valores actualizados se realiza con agentes informáticos o de búsqueda que son los encargados de conseguir y entregar al resto del sistema dichos valores. De ese modo, el FLAG tiene un módulo que implementa estos agentes de búsqueda, y como se ha mencionado, la elaboración de este módulo fue parte del proyecto de investigación que se describe en esta tesis.

### **El módulo de agentes en el FLAG**

Puesto que constituyen el elemento técnico fundamental de este módulo, se proporciona una definición de agentes.

“Los agentes de búsqueda son programas diseñados para moverse a lo largo de la red, creando rutas y filtrando los mensajes enviados a un usuario, y buscando información o servicios en representación del usuario” (Calle, 1996).

Esto significa que para obtener los valores de las VMR, se *lanzarán* agentes definidos *ad hoc* mediante dos elementos fundamentales: la página web de la cual se obtiene la información correspondiente a una variable y el método mediante el cual se extrae el valor de interés de dicha página.

Puesto que en la citada versión anterior del FLAG se implementó un módulo de agentes que resultó insuficiente en varios aspectos, para el diseño del módulo en la versión actualizada (la que nos ocupa) se dividieron las actividades en cinco partes:

- Estudio del proceso similar en la versión anterior de FLAG; determinación de cambios, mejoras, correcciones.
- Asignación de fuente de información a las VMR: se busca una fuente y se crea un agente para obtener los valores actualizados.
- Determinación de la periodicidad con la que se obtienen valores de las VMR: se asigna la frecuencia de obtención de valores según el uso de la variable por los clientes.
- Consecución de valores: se envían los agentes y se recibe el nuevo valor conseguido.

- Comunicación con el proceso que invoca ejecuciones: se le pasan los valores actualizados.

De este modo, se incluyeron en este capítulo secciones individuales para cada uno de estos temas.

## **1.2 Estudio del proceso similar en la versión anterior de FLAG**

El trabajo anterior lo realizó Díaz (2009). El análisis de la versión anterior - que resultó en la decisión de elaborar una versión actualizada - se centró en tres aspectos fundamentales: la eficiencia de todos los procesos, la presencia de todos los elementos necesarios y las mejoras en cuanto a interfaces de los usuarios con el sistema. A raíz de la aplicación de estos criterios, se encontraron los siguientes aspectos susceptibles de mejoras en el módulo de agentes:

- Permitía definir agentes, pero no ofrecía la facilidad de probarlos cuando se definían;
- No permitía que un mismo agente sirviera para dos o más VMR;
- La estructura de datos era insuficiente para almacenar los agentes con la característica anterior (servir a más de una VMR);
- No estaba implementado el módulo que invocaba los agentes con cierta periodicidad (quedó pendiente este desarrollo);
- No permitía la ejecución simultánea de varios agentes;
- No estaba bien definida la comunicación con el programa que ejecutaba los modelos afectados.

Por lo tanto, se formuló como objetivo de la nueva versión del módulo hacer todas estas mejoras y completar las funciones que aún no estaban programadas en su totalidad.

## **1.3 Asignación de la fuente de información a las variables del mundo real**

La funcionalidad fundamental del FLAG es la que se describió como el motor del servicio: se consiguen valores actualizados de las VMR y se ejecutan los modelos afectados por los cambios

en sus valores. De ese modo, la primera actividad es determinar la fuente de información de la cual se obtienen los valores de cada variable del mundo real ofrecida a los clientes.

Es importante señalar que la determinación de la fuente no es función del paquete, sino de los operadores del servicio FLAG. Por lo tanto, se programó el modo de especificar un agente informático que será el encargado de obtener los valores de la fuente que se le indique al programa, para cada VMR.

Se diseñó esta función con el objetivo de facilitar la definición del agente, que como vimos, se compone de dos elementos: la fuente (página, URL) y el “parseo” que debe realizar el agente para obtener el dato preciso que se busca. El término parseo (que es un anglicismo puesto que en inglés hay un verbo *to parse*) significa “ubicar en un texto una cadena de caracteres buscada”. Por lo tanto “el parseo” se podría reemplazar por: revisar un texto e identificar la posición en la cual se encontró una coincidencia con una cadena de caracteres buscada.

Para almacenar los agentes, es decir, ambos elementos que lo componen, se modificaron las estructuras utilizadas en la versión anterior.

### **1.3.1 El modelo de datos de agentes de búsqueda**

El FLAG utiliza una base de datos llamada “REALVARIABLESbase” que contiene toda la información que necesita para ofrecer los servicios a sus clientes. Esta base contiene diversas tablas, entre las cuales están las que utiliza el módulo de agentes.

En el modelo anterior, había una tabla “AGENTE” que tenía la información que lo definía. La clave principal de esta tabla era el número de VMR para la cual se ocuparía el agente. En otras palabras, esta tabla tenía una relación 1 a 1 con la tabla de VMR. Esto no permitiría que un agente aportara valores a más de una variable, como es el caso en algunas de las variables.

Esta flexibilidad de los agentes que permite que uno consiga los valores de dos o más VMR se introdujo puesto que puede resultar en reducción de recursos informáticos, debido a que un agente consigue los valores de varias VMR en una sola visita, como se describirá más adelante.

Por lo tanto se modificó el modelo de datos: se usa la tabla AGENTE pero ahora con la clave principal “número de agente” (que se asigna en forma arbitraria a cada uno de ellos). En la tabla de VMR se indica el número de agente que proporcionará sus valores. Este número puede ser 0 (cero) si la variable es calculada, o si por alguna circunstancia no se obtiene por medio de un agente, tal como sucede en variables que tienen pocas variaciones y por lo tanto se actualizan en forma manual. Adicionalmente, la parte correspondiente al “parseo” se dejó en la tabla REALVARIABLES, puesto que el parseo será diferente (para un mismo agente) cuando consiga valores de más de una variable.

Eso resultó en que las dos tablas involucradas en el módulo (REALVARIABLES AGENTES) tengan los campos que se detallan en las Tablas 1 y 2 respectivamente, en las cuales se han subrayado los campos que constituyen sus claves principales. Debajo de cada una de las tablas se aclaran algunos de los campos, pero solamente los que intervienen en el módulo de agentes.

Tabla 1.- Los campos de la tabla REALVARIABLES

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>
<u>Var_num</u>	Número de la variable	Número
value_type	1 = tipo numérico, 2 = distribución	Número
Vartype_label	Escalar – Distribución	Texto
computing_level	0 = hoja	Número
has_formula		Sí / No
rw_submodel		Texto
rw_dad	La variable es parte de la formula	Número
formula_to_dad		Texto
Shortie	Nombre que aparece en la formula	Texto
Description	Descripción completa	Texto
Comments	Comentarios para la variable	Memo
meas_unit		Texto
applicable_factor	Factor de conversión para las unidades de medida	Número
what_are_periods	1=día, 7=semana, 15=quincena, 30= mes, 100=trimestre, 200=semestre, 250=año	Texto

last_updated		Fecha / hora
is_it_a_top_variable		Sí / no
HOW_MANY_SYNONYMS		Número
<b>AGENTE</b>	Número del agente que administra de valores a dicha variable	Número
TIPO_PAL_BUSQUEDA	Fija=asignada por el usuario, día=número de día actual, hora=hora actual	Texto
PALABRA_BUSQUEDA	Palabra clave para buscar en la fuente de información	Texto
CAR_ANTES_PAL_BUS	Caracteres antes de la palabra clave	Texto
CAR_FIN_PAL_BUS	Caracteres después de la palabra clave	Texto
POSI_INICIAL_PAL_BUSQUEDA	Número de carácter donde inicia la palabra clave	Número
NUM_CAR_ANTES_VALOR	Número de caracteres antes del valor de la variable	Número
NUM_CAR_GUARDAR	Numero de caracteres del valor a guardar	Número
FRECUENCIA_BUS_VMR	Frecuencia para consecución del valor de la VMR	Número
PRIMERA_HORA_BUS_VMR	Hora del día para iniciar la búsqueda del valor de la VMR	Texto
ULTIMA_HORA_BUS_VMR	Hora del día para terminar la búsqueda del valor de la VMR	Texto
DIAS_BUS_VMR	Días de la semana para la búsqueda de valores de la VMR	Texto

*AGENTE*: Es el número del agente que actualiza el valor de la variable del mundo real.

*TIPO\_PAL\_BUS*: Indica el tipo de palabra de búsqueda; donde “fija” es una palabra asignada por el usuario, “día” es el número del día en el que se ejecuta el agente, “hora” es número de la hora de la ejecución.

*PALABRA\_BUSQUEDA*: Es la palabra clave a buscar en la fuente de información; cuando el campo anterior es “fija” el usuario introduce la palabra y cuando es cualquier otra opción el sistema la determina.

*CAR\_ANTES\_PAL\_BUS*: Almacena los caracteres que se encuentran antes de la palabra de búsqueda. Este campo permite hacer más precisa la búsqueda, existe la posibilidad que la palabra clave se encuentre más de una vez en la fuente de información, en este caso el campo *CAR\_ANTES\_PAL\_BUS* y *CAR\_FIN\_PAL\_BUS* permiten formar una palabra única y precisa a la hora de la búsqueda.

*CAR\_FIN\_PAL\_BUS*: Almacena los caracteres que se encuentran después de la palabra de búsqueda.

*POSI\_INICIAL\_PAL\_BUSQUEDA*: Almacena la posición en la página del primer carácter de la palabra de búsqueda.

*NUM\_CAR\_ANTES\_VALOR*: Almacena el número de caracteres que se encuentran antes del valor de la variable del mundo real. Este campo es calculado en base a los parámetros *PALABRA\_BUSQUEDA*, *CAR\_ANTES\_PAL\_BUS* y *CAR\_FIN\_PAL\_BUS*.

*NUM\_CAR\_GUARDAR*: Almacena el número de caracteres del valor que se desean guardar.

*FRECUENCIA\_BUS\_VMR*: Indica la periodicidad con la que se buscará el valor de la variable del mundo real, indicada por el usuario de la variable.

*PRIMERA\_HORA\_BUS\_VMR*: Almacena la hora del día en la que se comenzará a buscar el valor de la variable del mundo real.

*ULTIMA\_HORA\_BUS\_VMR*: Almacena la hora del día en la que dejará de buscar el valor de la variable del mundo real.

*DIAS\_BUS\_VMR*: Almacena los días de la semana en los que buscará el valor de las variables del mundo real. Es un campo compuesto por siete caracteres, donde cada uno representa un día de la semana, el primero hace referencia al día lunes y séptimo al día domingo. Los caracteres de este campo son 0 = no buscar valor ese día, 1 = día para buscar el valor.

Tabla 2.- Tabla Agente.

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>
<i>AGENTE</i>	Número del agente	Número
<i>NOMBRE</i>	Nombre común de un agente	Texto
<i>URL</i>	Fuente de información	Texto
<i>FRECUENCIA_BUSQUEDA</i>	Periodicidad para mandar al agente	Número
<i>PRIMERA_HORA_BUSQUEDA</i>	Hora del día para la primera consecución del valor	Texto
<i>ULTIMA_HORA_BUSQUEDA</i>	Hora del día para la última consecución del valor	Texto
<i>DIAS_BUSQUEDA</i>	Días de la semana para buscar el valor	Texto
<i>CUANTAS_VARIABLES</i>	Número de variables asociadas al agente	Número

*AGENTE*: Indica el número del agente, es el campo llave de tabla.

*NOMBRE*: Almacena un nombre común; sirve para identificar al agente.

*URL*: Almacena la dirección electrónica de la fuente de información donde buscará el valor de la o las variables del mundo real.

*FRECUENCIA\_BUSQUEDA*: Almacena la periodicidad en la que el agente conseguirá los valores.

*PRIMERA\_HORA\_BUS\_VMR*: Almacena la hora del día en la que el agente comenzará a buscar el valor de la variable del mundo real.

*ULTIMA\_HORA\_BUS\_VMR*: Almacena la hora del día en la que el agente terminará de buscar el valor de la variable del mundo real.

*DIAS\_BUS\_VMR*: Almacena los días de la semana en los que el agente buscará el valor de las variables del mundo real. Es un campo compuesto por 7 caracteres, donde cada uno representa un día de la semana, el primero hace referencia al día lunes y el séptimo es el domingo. Los caracteres de este campo son 0 = no buscar valor ese día, 1 = día para buscar el valor.

*CUANTAS\_VARIABLES*: Almacena el total de variables que administra el agente.

Los campos *FRECUENCIA\_BUSQUEDA*, *PRIMERA\_HORA\_BUS\_VMR* y *DIAS\_BUS\_VMR* en la tabla AGENTE son actualizados y dependientes de los valores registrados en la tabla REALVARIABLES. Cuando un agente consigue los valores de dos o más VMR los campos señalados en la tabla de agente almacenan las frecuencias mínimas y los días de búsqueda resulta de combinar los días en los que se buscan cada una de las variables administradas por el agente. La asignación de los días de búsqueda resulta de la suma “unión” para cada uno de los 7 dígitos (de hecho caracteres con valores 0/1) del campo de días de búsqueda de cada una de las variables involucradas. Es decir, se ejecutarán los agentes en días para los cuales cualquiera de las variables a las que da servicio tiene la indicación de que se ejecute ese día de la semana (valor 1 en el dígito correspondiente).

La asignación de la frecuencia de búsqueda se ilustra con un ejemplo: sea un agente que administra dos VMR, donde la frecuencia de búsqueda de la primera es cada minuto y la segunda es cada 10 minutos. Se asigna el menor de estos datos (1 minuto) a la frecuencia de búsqueda del agente

Como se adelantó, el módulo tiene las siguientes funciones globales:

Actualizar los agentes que consiguen los valores de las VMR ofrecidas

Determinar la periodicidad con la que se ejecuta cada agente

Creación de un archivo plano para efectos de minimizar la inicialización del proceso de consecución de valores

Obtención de valores actualizados con la periodicidad requerida

Entrega de los nuevos valores al motor del FLAG que procesará los cambios del modo indicado por la funcionalidad del servicio.

### **1.3.2 El programa que actualiza los agentes**

Aquí cabe un comentario sobre el diseño de las interfaces usuario-máquina. Cuando se diseña una tal interfaz, es importante tomar en cuenta quiénes utilizarán las funciones que se implementan. En el caso del FLAG, se pueden dividir estos usuarios en dos categorías (conceptuales): Los clientes y el personal del servicio mismo.

El módulo de agentes será utilizado por personal experto en las actividades que realiza, tanto en el aspecto técnico como en el sustantivo, es decir, lo que tienen que introducir u obtener del sistema. De ese modo, se trata de facilitar el uso de los programas pero tomando en cuenta el conocimiento de los usuarios. En particular, cuando se trata de indicar el “parseo” que realizará un agente para conseguir cierto valor, el usuario conoce la página, pero no necesariamente lo que hace el programa para obtener ese valor entre toda la información contenida en la página.

Por lo tanto, en algunas funciones se contempló que el usuario sabe lo que tiene que introducir, mientras que en otras funciones hay que ayudarlo lo más posible a hacerlo correctamente.

A continuación se describe el programa. Tomando en cuenta que un agente puede alimentar valores a más de una variable, el programa se organizó de este modo:

- a) Actualiza la tabla de agentes (altas, bajas, modificaciones).
- b) Para cada agente, asignación de las VMR para las cuales obtendrá datos.

Se ofrece una lista de los agentes que ya se definieron, en una forma como la que ilustra la Figura 3.



Figura 3.- Administración de agentes

Observe que las “flechas” permiten posicionares en la hilera deseada, es decir, la que contiene el agente de interés, para evitar el uso del ratón para seleccionar el agente deseado.

El módulo de administración de los agentes consta esencialmente de tres funciones básicas agregar, eliminar y modificar los parámetros de un agente.

### 1.3.2.1 Agregar un nuevo agente

La función para agregar un agente se ejecuta en dos pasos (a pesar de que usan la misma forma). Primero se indica que se desea AGREGAR un agente. Esto hace que aparezcan los campos que se deben indicar para el nuevo agente.

El sistema asigna (y muestra) el número que tendrá el agente que se agrega. Se tiene que indicar un nombre común para el agente (que permitirá identificar al agente de los demás) y la dirección electrónica (URL) de la página que usará como fuente de información. El sistema identifica a los agentes por el campo clave de la tabla, que es el número del agente (que se asigna en forma

consecutiva a medida que se agregan agentes) como se aprecia en la Figura 4. Los parámetros faltantes, para la administración de un agente, se incluyen de forma automática – con valores *default*. Estos valores son temporales, puesto que se modifican cuando se asignen VMRs al agente, como se verá en la sección donde se describe la asignación de VMR.



Figura 4.- Agregar un nuevo agente de búsqueda.

Es importante señalar que no se puede asignar a un nuevo agente una URL cuando ésta ya se encuentra asignada como fuente de información en otro agente. Cuando un usuario introduce exactamente la misma dirección electrónica de un agente previamente definido el sistema despliega una ventana con la notificación de que el URL ya existe y los datos del agente que utiliza la fuente de información indicada, como se ilustra con la Figura 5.

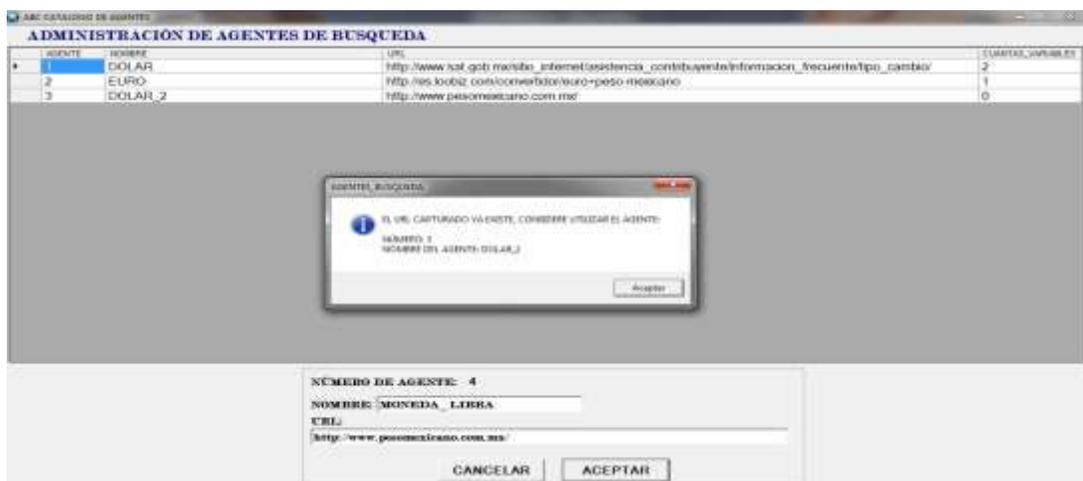


Figura 5.- Fuente de información utilizada por otro agente.

### 1.3.2.2 Modificar un agente

La función para modificar un agente, requiere que primero se seleccione, de la tabla de agentes, el registro de interés. La selección se puede realizar con el ratón de la computadora o utilizando los botones en forma de flechas de color verde, que apuntan hacia arriba y hacia abajo respectivamente.

Una vez seleccionado el registro de interés para la modificación se despliegan el nombre y la URL: ambos campos se pueden modificar con esta función. Para modificar un agente, primero es necesario eliminar cualquier relación existente con las VMR (con el objeto de evitar confusiones). Al igual que la función para registrar un nuevo agente, la dirección electrónica de la fuente de información no debe ser la misma de otro de los agentes ya registrados.

### 1.3.2.3 Eliminar un agente

La función para eliminar un agente permite borrar de forma permanente de la base de datos un agente. Se selecciona el agente que se desea eliminar y el sistema ofrece la confirmación de la eliminación, como se muestra en la Figura 6. Esta operación no se podrá invocar si el agente en cuestión ya tiene alguna VMR que lo utiliza. También es importante señalar que esta operación es definitiva, es decir, no tiene “deshacer” (*undo*).

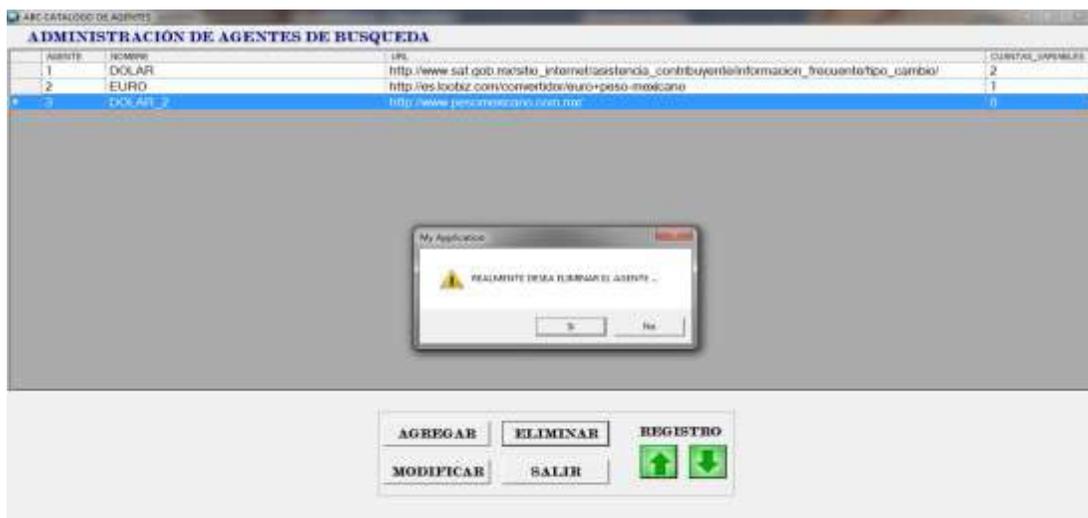


Figura 6.- Eliminación de un agente.

### 1.3.3 Asignación de variables del mundo real a los agentes

La función fundamental de los agentes es conseguir los valores más actualizados de las VMR. Para ello, se establece la relación entre una VMR y un agente. Esta relación es de un agente a “muchas” VMR, como ya se explicó cuando se detalló el modelo de datos.

La asignación de una VMR a un agente una vez más se realiza en pasos. Se usa la forma ilustrada en la Figura 7 (similar a las anteriores) para seleccionar un agente. Observe que en general el usuario ya sabe cuál es la variable que agregará para ese agente. Sin embargo, se ofrece la posibilidad de invocar una lista de todas las VMR a las cuales todavía no se les ha asignado un agente.



Figura 7.- Interfaz principal para la asignación de VMR a los agentes.

#### 1.3.3.1 Agregar nueva relación entre agente y variable del mundo real

Aparece una forma como la que muestra la Figura 8. El recuadro indica el agente seleccionado (aparece un botón que permite invocar la función de crear un agente nuevo).



Figura 8.- Agregar relación entre agente y VMR.

Una vez seleccionada la variable que se desea asociar al agente, se despliega una interfaz que contiene en un campo de texto en cual se muestra el código de la página que funciona como fuente de información.

Hay una ventana en la cual el usuario debe capturar la combinación de palabras para que el agente identifique el valor de la variable deseada. Los campos necesarios son:

- el tipo de palabra de búsqueda, que puede ser
  - fija: una constante (una palabra)
  - día u hora: día es el número del día en el que se manda el agente, y hora es la hora en la que se manda el agente a buscar el valor;
- palabra a buscar: es resultado del tipo de palabra. Cuando es fija, el usuario debe capturar la o las palabras correspondientes: en el caso de que el tipo sea día u hora el sistema de forma automática captura la palabra;
- caracteres antes de la palabra\*: indican la combinación de caracteres que se encuentran *antes* de la palabra de búsqueda – si hay tales caracteres;
- caracteres después de la palabra\*: son los caracteres que se encuentran inmediatamente después de la palabra buscada, si es que hay tales caracteres;
- número de caracteres a guardar: representa el número de caracteres que contiene el valor deseado.

(\*) Los campos de caracteres antes y después de la palabra de búsqueda no son obligatorios, debido a que una palabra de búsqueda correcta puede ser suficiente para la identificación del valor deseado.

Mostrar el código de la página de internet constituye una herramienta útil para el usuario del sistema: le permite seleccionar los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento de los agentes. La interfaz descrita se puede visualizar en la Figura 9.

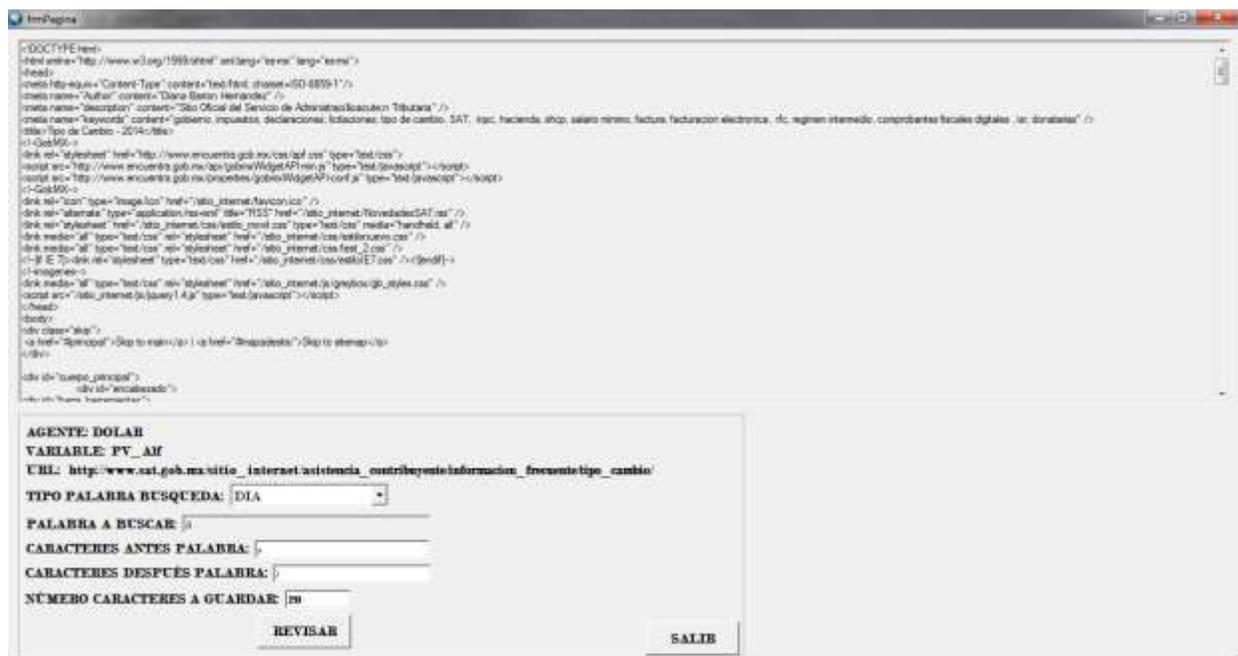


Figura 9.- Captura de parámetros para actualizar valores de VMR.

En el campo “número de caracteres a guardar” se pueden indicar números grandes (hasta 20 dígitos).

**El programa exige que haya una conexión a internet activa.** De lo contrario, no podría reproducir el código de la página, ni activar la validación que se describe a continuación.

El botón “REVISAR” permite determinar si los parámetros introducidos para conseguir el valor de la VMR en la fuente de información indicada son correctos. Cuando el sistema revisa (parsea) la página de internet y encuentra un valor numérico, despliega una ventana que

contiene la posición en la página y el valor encontrado, y todas las coincidencias encontradas son resaltadas con color azul en el campo que contiene el código de la página, como se puede apreciar en un ejemplo ilustrado por la Figura 10. Cuando los parámetros de búsqueda del valor no son los correctos, el sistema muestra un mensaje indicando que la palabra de búsqueda no fue encontrada.

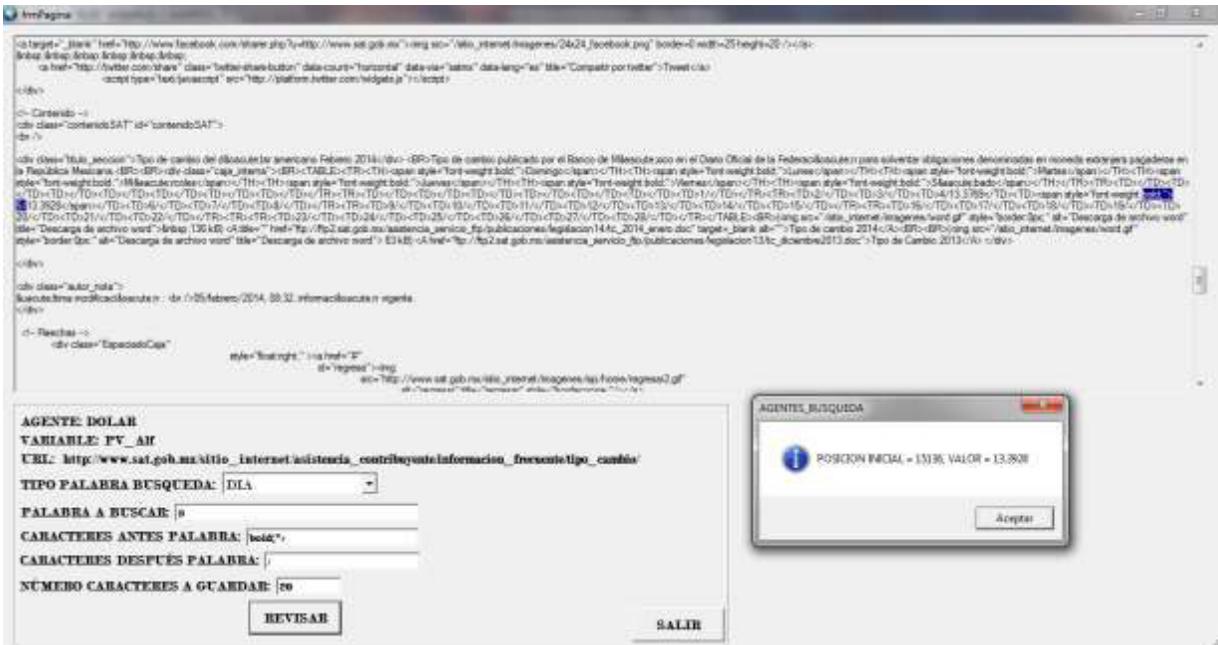


Figura 10.- Valor encontrado en la fuente de información.

Si el valor encontrado es un valor numérico, se despliega una ventana para confirmar si el valor es el correcto como se muestra en la Figura 11.

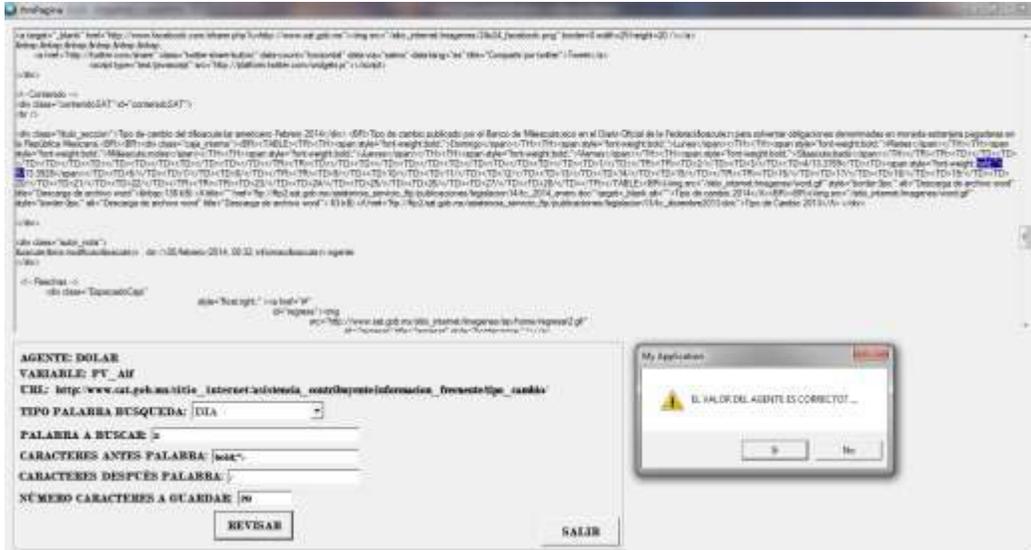


Figura 11.- Confirmación del valor encontrado en la fuente de información.

Cuando la confirmación es positiva (si) se procede a proporcionar los otros campos necesarios para que se ejecute el agente cuando sea necesario o deseable. Para ello, aparece en la misma forma una ventana que permite capturar la segunda parte de la configuración para la ejecución de los agentes. Ahí solicita los parámetros como la frecuencia en la que se van a mandar los agentes, la hora y minuto en la que empieza y termina la búsqueda y los días de la semana en los que debe realizarse la actualización de los valores, como se puede observar en la Figura 12.

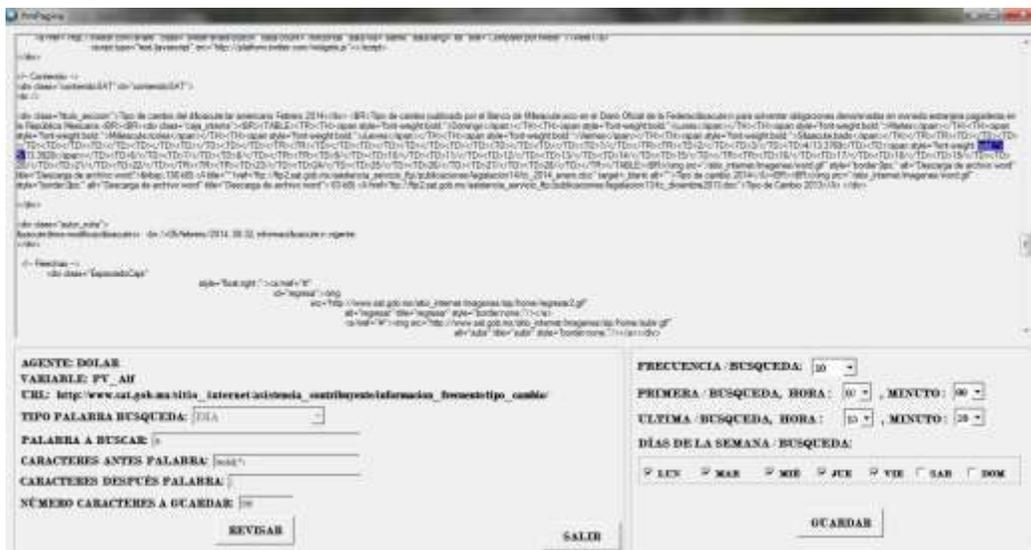


Figura 12.- Configuración de parámetros de frecuencia de búsqueda.

Las opciones para la frecuencia\* de búsqueda son 1, 10 o 60 minutos. La primera y última búsqueda pueden ser cualquier combinación de horas y minutos del día y días de la semana, pero también pueden contener cualquier combinación de días de la semana. Una vez indicados todos los parámetros requeridos el botón *GUARDAR* almacena el registro del agente en la base de datos.

(\*) Cabe un comentario sobre la frecuencia de búsqueda, es decir, con qué frecuencia se necesitan valores actualizados de la variable en cuestión. A pesar de que se puede indicar este dato en este punto, el FLAG asigna la periodicidad de los agentes de acuerdo a la frecuencia con la que la solicitó el cliente que la pidió con mayor frecuencia. El proceso que efectúa estas operaciones no es parte del módulo de agentes: es parte de la comunicación entre clientes y el FLAG; por lo tanto no se proporcionan más detalles sobre cómo se determina la frecuencia “definitiva” del agente, pero se basa en lo siguiente:

- Para cada VMR se determina la mayor frecuencia solicitada por un cliente que la usa;
- A partir de las VMR que usan un agente, se determina la frecuencia con la que se lanzará dicho agente.

Las funciones descritas en los párrafos anteriores sólo se pueden usar si las páginas de internet indicadas se encuentran disponibles. Si una fuente de información se encuentra fuera de servicio por cualquier razón, el sistema muestra una ventana informando que la página utilizada por el agente no se encuentra disponible.

### **1.3.3.2 Modificar relación entre agente y variable del mundo real**

El módulo de modificación de la relación entre un agente y una variable del mundo real, permite cambiar los parámetros necesarios para la búsqueda del valor deseado. Se invoca la combinación de agente-VMR del mismo modo que cuando se trata de agregar una VMR a un agente. El resto del proceso es igual que el mostrado para aquella función, excepto que ahora se muestran los valores “anteriores” de los campos.

### **1.3.3.3 Eliminar la relación entre un agente y una variable del mundo real**

La función de eliminar la relación entre agente y la variable del mundo real, permite liberar una variable. La opción funciona seleccionando un registro de la tabla y seleccionando la opción de eliminar. Para eliminar una relación el sistema despliega una ventana que solicita la confirmación de eliminación.

### **1.4 Determinación de la periodicidad con la que se obtienen valores de las variables del mundo real**

A pesar de que algunos aspectos de la periodicidad se han mencionado previamente, se resumen aquí puesto que constituyen un elemento importante de la ejecución de los modelos como parte del “motor” del FLAG.

Los agentes se “disparan” en intervalos de 1, 10 ó 60 minutos (esto es resultado de una decisión de diseño del paquete). Obtener un dato con un minuto de desfase no debe tener un impacto negativo aún en las variables que tienen mayores variaciones. Y los restantes intervalos se determinaron por “sentido común”.

Una VMR puede estar en varios modelos (es decir, los modelos de varios clientes). Si no la usa nadie, no tendrá agente o se le pondrá una periodicidad 0 (lo que indica que no se obtienen los valores en forma periódica).

Se obtendrá el valor para el cliente que lo requiere con mayor frecuencia. Para ello, el FLAG tiene procesos que consiguen esta información; cuando se procesan los cambios a un modelo del cliente, se determinan las frecuencias que indicaron para las VMR que utiliza y se compara con las que tenían asignadas esas VMR.

La consecuencia de todo lo anterior es que para cada agente, está actualizado con el valor correcto el campo FRECUENCIA\_DE\_BUSQUEDA.

## 1.5 Consecución de valores

Se puede decir que esta es la función principal del FLAG: obtener los valores al día. Es parte del llamado MOTOR del FLAG, que consiste de dos programas que se ejecutan todo el día (posiblemente en algunos casos se limite el horario de algún modo). Estos programas se ocupan respectivamente de:

- Obtener nuevos valores de las variables que ofrece a sus clientes, y proporcionarlos al otro programa;
- Ejecutar los modelos que utilizan las variables que sufrieron cambios: recibe los cambios detectados y los procesa. El proceso consiste en determinar los modelos que se tendrán que ejecutar en este momento e invocar las ejecuciones resultantes.

El segundo programa no correspondió al módulo que se incluyó en este proyecto, de modo que aquí se describe la obtención de los valores actualizados, y en la siguiente sección, cómo se le comunican al programa que ejecuta los modelos.

El programa que obtiene valores actualizados de las VMR se ejecuta todo el día (o en los intervalos de tiempo dados por las necesidades). Por ejemplo, podría haber un servicio que no obtiene valores antes de las 6:00 ni después de las 19:00 horas. Del mismo modo, podría ser que no se obtienen los valores en fin de semana.

Durante el horario en el que el programa está en ejecución, constantemente determina cuáles agentes debe enviar y lo hace. El valor obtenido se agrega a un archivo, mismo que constituye la comunicación con el programa que invocará las ejecuciones de los modelos.

Una parte significativa del proyecto en cuanto a los agentes consistió en la determinación de estructuras y rutinas del programa que hicieran más eficiente su operación. De ese modo, surgió la conveniencia de preparar ciertos aspectos a través de datos cargados a memoria al inicio del proceso. Por ejemplo, para saber cuáles agentes se lanzan en cada instante, se usa una estructura diseñada para proporcionar ese servicio en la forma más eficiente posible.

Para cada agente, se proporcionan los parámetros que necesita. En lugar de tomar esos datos del registro de una tabla de una base de datos, se crearon estructuras que almacenan los datos con el fin de proporcionarlos más rápidamente, y en especial, evitando en lo posible operaciones de entrada-salida (lectura de archivos o bases de datos).

Para el envío automático de agentes y para un mejor manejo de los recursos informáticos, al inicio de la ejecución de este módulo se cargan a memoria los agentes junto con las VMR con las que se encuentran relacionados, y los parámetros necesarios para la actualización de los valores. Sólo se cargan a memoria los agentes que tienen que buscar valores ese día. La estructura utilizada se describe a continuación:

Public Structure S\_Un\_Agente

*'La estructura fue diseñada para almacenar todos los parámetros de un agente, tanto la fuente de información como un arreglo de las variables que administra*

Public AGENTE As Integer  
Public NOMBRE As String  
Public URL As String  
Public FRECUENCIA\_BUSQUEDA As Integer  
Public PRIMERA\_HORA\_BUSQUEDA As String  
Public ULTIMA\_HORA\_BUSQUEDA As String  
Public DIAS\_BUSQUEDA As String  
Public CUANTAS\_VARIABLES As Integer  
Public FECHA\_MANDO\_AGENTE As DateTime

*'Arreglos que almacenan los parámetros de cada variable del mundo real administradas por el agente en cuestión*

<VBFixedArray(0)> Public VARIABLES() As Integer  
<VBFixedArray(0)> Public VALORES() As Double  
<VBFixedArray(0)> Public TIPO\_PAL\_BUSQUEDA() As String  
<VBFixedArray(0)> Public PALABRA\_BUSQUEDA() As String  
<VBFixedArray(0)> Public CAR\_ANTES\_PAL\_BUS() As String  
<VBFixedArray(0)> Public CAR\_FIN\_PAL\_BUS() As String  
<VBFixedArray(0)> Public POSI\_INICIAL\_PAL\_BUS() As String  
<VBFixedArray(0)> Public NUM\_CAR\_ANTES\_VALOR() As String  
<VBFixedArray(0)> Public NUM\_CAR\_GUARDAR() As String  
<VBFixedArray(0)> Public FRECUENCIA\_BUS\_VMR() As String

*'El parámetro TAM recibido en la subrutina de la estructura, representa el número de variables administradas por el agente*

Public Sub REDIMENSIONA\_ARREGLOS(ByVal TAM As Integer)  
Dim DIMENSION As Integer

```

DIMENSION = TAM - 1

ReDim VARIABLES(DIMENSION)
ReDim VALORES(DIMENSION)
ReDim TIPO_PAL_BUSQUEDA(DIMENSION)
ReDim PALABRA_BUSQUEDA(DIMENSION)
ReDim CAR_ANTES_PAL_BUS(DIMENSION)
ReDim CAR_FIN_PAL_BUS(DIMENSION)
ReDim POSI_INICIAL_PAL_BUS(DIMENSION)
ReDim NUM_CAR_ANTES_VALOR(DIMENSION)
ReDim NUM_CAR_GUARDAR(DIMENSION)
ReDim FRECUENCIA_BUS_VMR(DIMENSION)
End Sub

End Structure

```

La estructura almacena la información del agente en cuestión y a su vez contiene listas de las variables a las que le actualiza su valor junto con los parámetros para la búsqueda de dichos valores, donde el índice de cada lista corresponde al índice de la VMR. El diseño de la estructura permite a los agentes actualizar el valor de más de dos variables en una sola visita a la fuente de información.

### **1.6 Envío concurrente de agentes de búsqueda**

Cuando hay necesidad de enviar varios agentes “a la misma hora”, se presentan dos alternativas. Se pueden enviar en forma secuencial, es decir, uno tras otro, o se envían en forma simultánea.

#### *Forma concurrente*

El envío simultáneo de agentes permite la actualización de los valores de las VMR al mismo tiempo, cumpliendo con las frecuencias indicadas en el envío de los agentes. Este método fue el adoptado por el trabajo aquí descrito, debido a que el tiempo de respuesta es mucho menor que en la forma secuencial (en el cual no se lanza un agente si el anterior no ha finalizado su tarea).

Se mencionó anteriormente que los agentes están en un arreglo ordenados por frecuencia: primero están los que se envían cada minuto, luego los de 10 minutos y finalmente, aquéllos que se envían cada hora “cerrada”. El programa funciona con un temporizador (timer), que cada

minuto que transcurre manda los agentes correspondientes: en base a la frecuencia de búsqueda del agente y el reloj del sistema, selecciona los agentes que deben ejecutarse en ese preciso momento.

Cada uno de los agentes funciona de forma independiente y el tiempo de ejecución puede ser diferente para cada uno de ellos. Antes de guardar los nuevos valores conseguidos el sistema espera a que todos los agentes hayan regresado sus valores. Al momento de que el agente consigue el valor lo almacena de forma temporal en memoria.

Cuando todos los agentes han regresado los valores, se graban en un archivo plano de acceso aleatorio, que constituye la comunicación entre el programa de ejecución de agentes y el programa de ejecución de modelos. Esencialmente, se guarda, para cada VMR para la cual se obtuvo un valor, en nuevo valor encontrado.

Se incluye como primer registro del archivo de comunicación el número de registros almacenados en él. A partir del segundo registro se encuentran las variables y sus valores. La estructura de este archivo es la siguiente:

```
Public Structure S_VARIABLE_VALORES
  Public NUM_VMR As Integer
  Public VALOR As Double
End Structure
```

## **1.7 Comunicación con el proceso que invoca ejecuciones**

Una de las situaciones que motivó un estudio profundo fue el de la comunicación entre los dos programas (o procesos) mencionados como motor. Se analizaron diversas alternativas, comenzando por:

- Habrá un programa que hace “todo”;
- Hay dos programas y se establece una comunicación entre ellos.

Esta decisión contempló, entre otros factores, el hecho que no se deseaba que una demora en una actividad del programa afectara la ejecución de otros procesos. Como ya se envían los agentes de forma concurrente (como se explicó) no parecía conveniente agregar a estas estructuras de ejecución las adicionales que se ocuparían de determinar cuáles modelos se tenían que ejecutar, y posteriormente invocar las ejecuciones de los modelos.

Se separaron las funciones en dos programas, que se ejecutan en forma concurrente pero independiente. Esto planteó el problema de comunicación entre los programas. Se analizaron (esencialmente) dos alternativas:

- Establecer una comunicación tipo “programa a programa”;
- Buscar una alternativa a esta solución.

Una alternativa fue usar dos computadoras, y enviar comandos de una a otra para informar los cambios en valores. Sin embargo, se encontró una solución que pareció mucho más eficiente, y es la que se describe a continuación (solución implementada).

Los agentes depositan los valores actualizados en un archivo plano con acceso aleatorio, en donde un registro almacena el número de la variable y el valor nuevo proporcionado por la fuente de información.

La sincronización del uso del archivo plano está dada de la siguiente manera:

- a) Colocación de los nuevos valores conseguidos;
- b) Lectura de los nuevos valores por parte del FLAG.

El artificio utilizado para esta comunicación, especialmente para evitar que situaciones de excepción afectaran su funcionamiento, es el siguiente. El programa de “agentes” usa un archivo llamado ValoresVMR.Agente.vvr. El programa que invocará los modelos que se deben ejecutar renombra el archivo (para “liberar” el original para su uso por el programa de agentes. De ese modo, si este segundo programa no ha cambiado el nombre, el programa de agentes sabe que no

se ha procesado, y le agregará los registros que surjan de las ejecuciones de agentes subsecuentes. Observe que no destruye el archivo porque “lo necesita” para leer sus registros. A pesar de que la lectura correspondiente es muy rápida, se podrían presentar situaciones de excepciones (consecuencias de demoras en algún proceso) y por lo tanto el archivo original no estaría disponible para que le agregaran registros durante el período en el que lo utilizara el programa de agentes.

### **1.8 Colocación de los nuevos valores conseguidos por los agentes**

Los agentes colocan en el archivo plano los nuevos valores. Cuando el archivo no existe, lo crea y anexa los nuevos registros comenzando de la segunda posición. El primer registro contiene el número total de registros (esto facilita la lectura por parte del otro programa, al proporcionar la dimensión del arreglo en el que se copian los datos que vienen en el archivo). Al terminar la actualización del archivo lo renombra y lo deja disponible para el FLAG.

Cuando el archivo plano existe, es decir, no ha sido renombrado debido a que el FLAG no ha evaluado los valores conseguidos en la ejecución anterior de los agentes, los nuevos valores actualizados se agregan al final del archivo y el primer registro se actualiza sumándole el número de los nuevos registros al que tenía anteriormente.

### **1.9 Lectura de los nuevos valores por parte del FLAG**

El FLAG toma los nuevos valores actualizados y contenidos en el archivo. Para ello, como se explicó anteriormente, **cambia de nombre** (rename) el archivo antes de usarlo, de modo que el programa de agentes sepa que ya se ha procesado (cuando intente usarlo, el archivo no estará y tendrá que crear uno nuevo).

Se leen los registros del archivo y los carga a memoria para su evaluación y ejecución de los modelos correspondientes. Después de terminar de cargar los nuevos valores **elimina** el archivo. Esto lo hace para poder usar el mismo nombre cuando tenga que procesar el siguiente archivo que le llega del programa de agentes.

Como ya se comentó, la complejidad de los procesos tanto de los agentes como los del FLAG hacen que se pueda presentar un desfase en la hora de la comunicación, lo que resultaría en que algún valor actualizado no sea contemplado. El diseño del método de comunicación descrito elimina esta posibilidad.

Para el control del envío de los agentes, se actualiza un archivo de texto que registra la bitácora de errores ocurridos durante la búsqueda de los valores actualizados de las VMR. Cada registro está compuesto por el número del agente, el número de la variable actualizada por dicho agente, y la fecha y hora en la que el agente no pudo conseguir el valor. Dicho archivo fue diseñado con la finalidad de dar seguimiento a los errores ocurridos durante la ejecución de los agentes.

### **1.10 Conclusiones relacionadas con el módulo de agentes del FLAG**

- Se lograron los objetivos de mejoras;
- Se completaron funciones que no habían sido incluidas o terminadas en la versión anterior;
- Se diseñaron los procesos para la minimización de duraciones y situaciones de excepción;
- Se incluyeron elementos de diagnóstico para la detección de circunstancias anormales (como la no disponibilidad de páginas o fracaso de un parseo, probablemente debido a un cambio del diseño de la página fuente);
- Se mejoraron las interfaces en particular la que se usa para definir los agentes.

Un análisis del módulo resultó en la determinación de que estaba completo (no faltan funciones) y que su funcionamiento era el adecuado, tanto en materia de programas como en las características deseadas de los procesos resultantes.

Sin embargo es importante repetir lo que se anunció respecto a este componente de la tesis: no se implementó el servicio FLAG para informar riesgos a productores. El uso de estos modelos implica una infraestructura informática y de servicio de parte del organismo que ofrece tales servicios, misma que no está disponible. De este modo, se postergó la posibilidad de ofrecerlo

hasta que hubieran sido analizados los beneficios, y en especial, se hubieran conseguido los recursos necesarios para implementar el FLAG como servicio a productores.

## CAPITULO II. ACTUALIZACIÓN INSTANTÁNEA DE VARIABLES DE CLIMA

### 2.1. Introducción a variables de clima

Como se mencionó anteriormente, la red de estaciones agrometeorológicas del INIFAP está configurada para medir 10 variables de clima cada 15 minutos, comenzando la toma del primer dato del día a las 00:00 h y terminando el día con la toma de datos a las 23:45 h.

Las estaciones agrometeorológicas envían estas observaciones a un servidor ubicado en las instalaciones del IMTA. La comunicación entre el servidor y las diferentes estaciones se establece mediante frecuencias de radio, pasando por varias antenas intermedias que retrasmiten los datos. En el servidor final se guardan como hojas de cálculo, pero en archivos con formato CSV (del inglés *comma-separated values*). Ésta es una forma generalizada de estructurar bases de datos mediante el uso de comas (,) en archivos de texto para indicar cuando acaba una columna y empieza la siguiente (Mifsuf, 2012).

En la actualidad, el análisis de los datos de clima se realiza de forma manual, es decir, se descarga archivo por archivo desde el servidor. Para cada archivo se procede a actualizar otras hojas de cálculo eliminando los datos de cada 15 minutos, dejando únicamente los registros de las horas puntuales, es decir los datos que fueron tomados a las 00:00 h, a las 01:00 h, a las 02:00 h, y así sucesivamente hasta las 23:00 h de cada día de análisis.

Al final de este proceso (manual) se obtiene una hoja con datos por cada una de las estaciones para un día. Esta operación de descarga individual de archivos desde el servidor y la preparación de los archivos “horarios” consume mucho tiempo, lo que además de involucrar muchos recursos humanos ocasiona que el proceso se haga sólo periódicamente, por ejemplo una vez por día o aún con frecuencia mucho menor (una vez por mes).

Los datos de clima son el insumo principal para diversas aplicaciones, tales como el cálculo de riesgos para el desarrollo de enfermedades en los cultivos, el control de activación y apagado de sistemas de riego para la optimización del agua, optimización en el rendimiento del cultivo y

descartar diversas deficiencias, la simulación del comportamiento y el crecimiento de plagas, la predicción de volumen de lluvia, entre otras.

Contar con la información de clima de forma accesible y en el menor tiempo posible permite a las diversas aplicaciones correr sus procesos de forma más rápida, eficiente y confiable. Estas circunstancias sugirieron una mejora de los procesos actuales, en especial para que el servicio de información de riesgo de enfermedades fuera diario o aún horario (cada hora transcurrida). Por lo tanto se formuló un proyecto de investigación cuyo objetivo se puede resumir como sigue:

Aprovechar la información proporcionada por las EAM para difundir las condiciones del clima y los riesgos fitosanitarios que existen en cualquier lugar del estado de Morelos en forma instantánea.

Adelantamos en este punto los aspectos principales de la preparación de datos del clima actualizados para su uso por cualquier aplicación, mismos que constan esencialmente de dos pasos:

- En cada ejecución, el sistema de administración revisa por cada estación cuál fue el último registro de datos que ya procesó previamente (en una ejecución anterior) y a continuación descarga el archivo CSV que contiene los registros generados y actualizados después de la última ejecución del sistema.

- La información contenida en los archivos con formato CSV se almacena en una base de datos que contiene los registros correspondientes a las horas puntuales. El sistema también crea archivos donde almacena y da formato a todos los registros tomados por la estación meteorológica, es decir, con todos los registros tomados con una frecuencia de 15 minutos.

De ese modo, los datos de clima pueden ser consultados para implementarlos en cualquier aplicación.

El módulo de consulta de datos de clima proporciona 19 variables, de las cuales 10 son las registradas por las EAM y nueve se calculan a partir de ellas. Tiene una interfaz que permite al usuario indicar el lugar de interés usando un mapa de Morelos; se calculan las variables de clima en ese lugar con una interpolación a partir de las estaciones de la red más próximas, y se despliegan en el monitor del usuario.

Según Peña (2006), “La interpolación es el procedimiento para predecir el valor de los atributos en sitios donde no se ha muestreado, a partir de medidas realizadas en localizaciones puntuales de la misma área o región”. En esta investigación es preferible usar el verbo estimar en lugar de predecir.

## 2.2 Administración de estaciones agrometeorológicas

En el estado de Morelos existe una red de 25 estaciones agrometeorológicas ubicadas geográficamente como se mostró en la Figura 1, que reproducimos aquí como Figura 13 para conveniencia del lector. La Tabla 3 detalla la ubicación y las coordenadas de cada una de ellas.

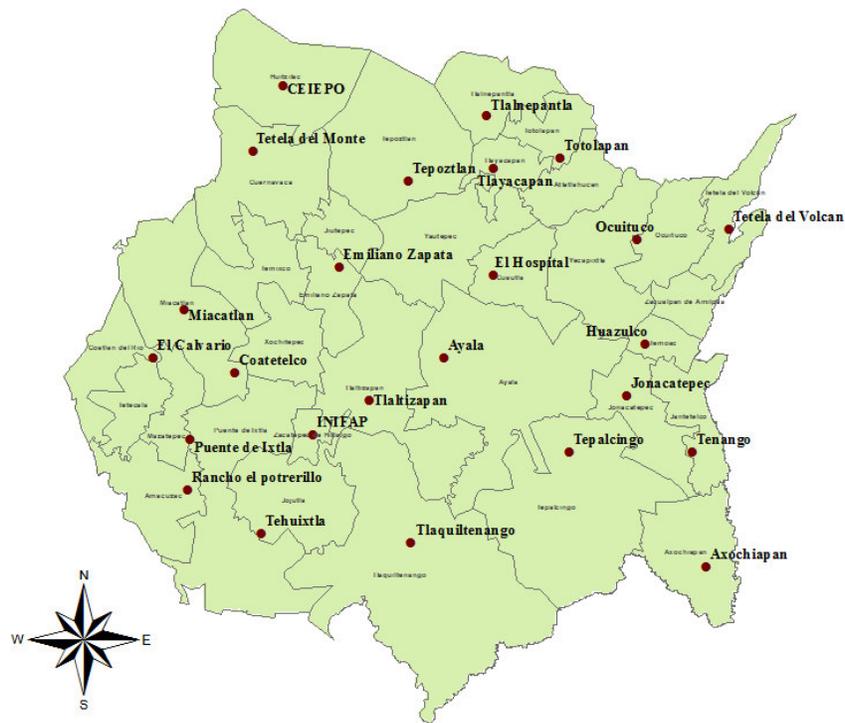


Figura 13.- Ubicación de las estaciones agrometeorológicas de la red.

Tabla 3.- Red de estaciones agrometeorológicas del estado de Morelos.

<b>No. Estación</b>	<b>Nombre estación / ubicación</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
1	INIFAP/Zacatepec	18.6531	-99.2008
2	El Calvario/ Mazatepec	18.7246	-98.9236
3	Rancho el potrерillo (Huajintlán)/ Amacuzac	18.5914	-99.3476
4	CEIEPO/ Huitzilac	19.0439	-99.2363
5	Tlaquiltenango/Tlaquiltenango	18.5319	-99.0851
6	Ocuituco/Ocuituco	18.8716	-98.8194
7	El Hospital/ Cuautla	18.8319	-98.9881
8	Ayala/Ayala	18.7388	-99.0469
9	Axochiapan/Axochiapan	18.5051	-98.7387
10	Jonacatepec/Jonacatepec	18.6971	-98.8317
11	Puente de Ixtla/Puente de Ixtla	18.6476	-99.3449
12	Coatetelco/Coatetelco	18.7218	-99.2929
13	Tepalcingo/Tepalcingo	18.6336	-98.8997
14	No está en operación	--	--
15	Emiliano Zapata/Emiliano Zapata	18.8411	-99.1691
16	Tepoztlan/Tepoztlán	18.9383	-99.0891
17	Tlayacapan/Tlayacapan	18.9522	-98.9885
18	Tlaltizapan/Tlaltizapan	18.6912	-99.1342
19	Tetela del Monte/ Cuernavaca	18.9706	-99.2721
20	Tetela del Volcán/Tetela del Volcán	18.8828	-98.7108
21	Tehuixtla/Jojutla	18.5417	-99.2617
22	Huazulco/ Temoac	18.7548	-98.8099
23	Tlalnepantla/Tlalnepantla	19.0115	-98.9968
24	Totolapan/Totolapan	18.9866	-98.7711
25	Miacatlán/Miacatlán	18.7932	-99.3517
26	Tenango/Jantetelco	18.6334	-98.7546

Las EAM envían las mediciones de clima, registradas cada 15 minutos, a un servidor ubicado en las instalaciones del IMTA, y las mediciones recibidas se almacenan en archivos con formato CSV. Los archivos en dicho servidor están en un directorio, cuya dirección electrónica se le indica a los procesos que bajan los archivos de la red.

En la Figura 14 se observa el formulario que permite capturar la dirección electrónica del mencionado directorio. En la misma forma, se indica la ruta del directorio local, donde se almacenarán los archivos descargados.

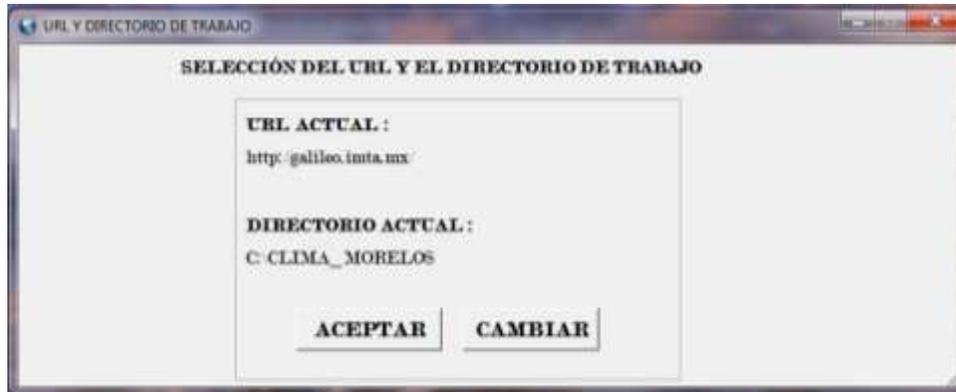


Figura 14.- Selección de la dirección del servidor y el directorio local de trabajo.

El sistema se diseñó para conseguir la información de clima de cualquier servidor, además de poder cambiar el directorio de trabajo cuando el administrador lo requiera. Para este fin, el sistema exhibe los nombres de ambos directorios al comenzar una sesión de descarga de archivos, y permite cambiar –si fuera necesario- tanto la dirección del directorio en el servidor como el directorio de trabajo local, como se observa en la Figura 15. El botón etiquetado con “BUSCAR” invoca un objeto de búsqueda de directorios y archivos (*file-picker*) para facilitar la tarea de indicar el directorio de trabajo.

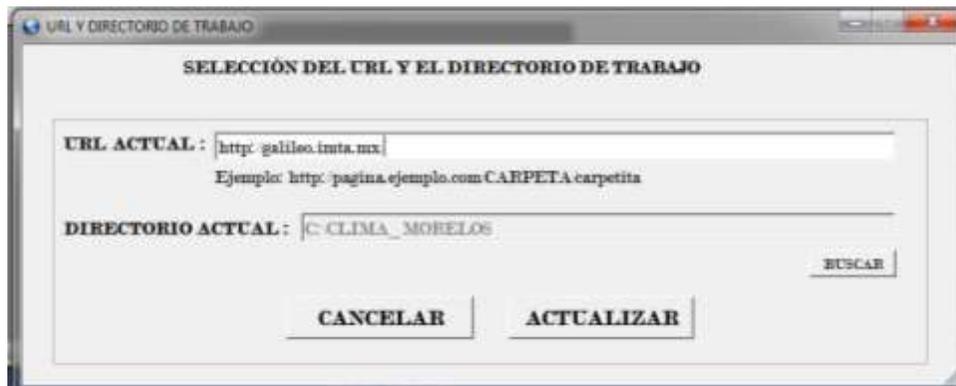


Figura 15.- Cambio de la dirección del servidor y el directorio local de trabajo.

Actualizar las EAM que componen la red

El módulo de administración de EAM es la parte del sistema encargada de agregar, eliminar y modificar la información de las estaciones que conforman la red.

La interfaz principal que permite realizar la administración de las EAM, muestra un cuadro que contiene todos los datos de dichas estaciones. Además tiene opciones para agregar, eliminar o modificar los datos de las estaciones, como se observa en la Figura 16.

ESTACION	NOMBRE	UBICACION	CLAVE_EST_ENTIDAD	LATITUD	LONGITUD	ULT_HORA_PROCESADA	ULT_H_ARCHI_DESCAR
1	INFAP	ZACATEPEC	MOR_001	186231	-992008	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
2	EL CALVARIO	MAZATEPEC	MOR_002	187400	-983850	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
3	RANCHO EL ROTRERILLO	AMACUZAC	MOR_003	185914	-983476	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
4	CEBRO	HUITZILAC	MOR_004	180420	-982363	23-12-13 12:30	23-12-13 12:30
5	TLAQUILTEMANIGO	TLAQUILTEMANIGO	MOR_005	185318	-989851	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
6	OCUTUCO	OCUTUCO	MOR_006	180716	-988194	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
7	EL HOSPITAL	CIJUTLA	MOR_007	180310	-988881	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
8	AYALA	AYALA	MOR_008	187388	-993489	23-12-13 12:30	23-12-13 12:30
9	ARICHAPEAN	ARICHAPEAN	MOR_009	185891	-987587	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
10	JONACATEPEC	JONACATEPEC	MOR_010	186971	-988317	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
11	FUENTE DE IXTLA	FUENTE DE IXTLA	MOR_011	186476	-983449	23-12-13 08:30	23-12-13 08:30
12	COATEPELCO	COATEPELCO	MOR_012	187218	-982629	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
13	TEPACINGO	TEPACINGO	MOR_013	183336	-988857	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
14	VILLA DE AYALA	AYALA	MOR_014	187678	-989058	15-10-13 23:48	15-10-13 23:48
15	EMILIANO ZAFATA	EMILIANO ZAFATA	MOR_015	186411	-985081	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
16	TEPOZTLAN	TEPOZTLAN	MOR_016	180383	-989881	23-12-13 11:00	23-12-13 11:00
17	TLAYACAPAN	TLAYACAPAN	MOR_017	185622	-988889	23-12-13 12:30	23-12-13 12:30
18	TLALTIZAPAN	TLALTIZAPAN	MOR_018	185912	-989342	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
19	TETELA DEL MONTE	CIERRENEGUA	MOR_019	189796	-987721	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
20	TETELA DEL VOLCAN	TETELA DEL VOLCAN	MOR_020	188828	-987188	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
21	TEHUXTLA	JOXUTLA	MOR_021	185417	-982617	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
22	HUANZALCO	TEMOCAC	MOR_022	187848	-988889	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
23	TLAQUEPANTLA	TLAQUEPANTLA	MOR_023	180116	-989988	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
24	MICATLAN	MICATLAN	MOR_024	187932	-989617	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
25	TOTOLAPAN	TOTOLAPAN	MOR_025	186640	-989180	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
26	TENANGO	JANTETELCO	MOR_026	180234	-987546	23-12-13 12:00	23-12-13 12:00

Figura 16.- Administración total de estaciones agrometeorológicas.

Los datos más relevantes de las EAM se guardan en la tabla “estaciones” de la base de datos “clima\_estaciones”, que además tiene otras 25 tablas, como se verá más adelante.

## 2.2.1 Tabla estaciones

La tabla ESTACIONES es un catálogo que almacena los datos de las EAM. En la Tabla 4 se muestran los campos de dicha entidad. Los campos que no se explican por su nombre están descritos debajo de la tabla.

Tabla 4. Tabla ESTACIONES.

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>
ESTACION	Número de la estación en la red	Entero
NOMBRE	Nombre propio de la estación	Texto
UBICACIÓN	Nombre del municipio donde se encuentra la estación	Texto
CLAVE_EST_ENTIDAD	Clave de la entidad federativa a la que pertenece la estación	Texto
LATITUD	Coordenada geográfica de la estación correspondiente a la Latitud	Entero
LONGITUD	Coordenada geográfica de la estación correspondiente a la Longitud	Entero
ULT_HORA_PROCESADA	Última hora en la que se insertó datos a la tabla correspondiente a la estación	Fecha-Hora
ULT_H_ARCHI_DESCAGA	Última hora en la que se descargó el archivo de datos correspondiente a la estación	Fecha-Hora
ESTATUS	Estado de la Estación	Texto

*ESTACION*: Es el número de la EAM según la numeración usada en este trabajo. Es la clave principal de esta tabla.

*UBICACION*: Campo de tipo de dato texto que almacena el municipio donde se encuentra instalada la EAM.

*CLAVE\_EST\_ENTIDAD*: Contiene la entidad federativa a la que pertenece la estación. Se incluyó para posibilitar el uso del sistema con estaciones de otras entidades (aunque por ahora, son del estado de Morelos).

*ULT\_HORA\_PROCESADA*: Dato técnico que permite la selección de las estaciones que intervienen en algún proceso de acuerdo a la hora del último proceso anterior.

*ULT\_H\_ARCHI\_DESCARGA*: Similar al anterior, para determinar si es necesario o no descargar los archivos del Internet.

*ESTATUS*: Se indica si la estación está “activa” (reporta datos), “eliminada” (ya no reportará) o inactiva por un período.

### 2.2.2 Agregar nuevas estaciones agrometeorológicas

Se puede agregar una EAM (cosa que sucede con mayor frecuencia cuando el sistema se instala y se registran cada una de las EAM que componen la red). Cabe señalar que el sistema de datos del clima se diseñó de tal modo que se puede usar para cualquier red de estaciones

meteorológicas, no sólo la ilustrada en esta tesis (la del estado de Morelos). La inclusión de este módulo fue fundamental para permitir ese uso generalizado a otras redes.

Con la opción “agregar” se incluye en la tabla ESTACIONES un registro nuevo para la EAM que se agrega a la red. El procedimiento es que una vez seleccionada la opción, el sistema genera el número de estación para el nuevo registro (se obtiene del número siguiente al de la última EAM). A continuación, aparece un cuadro en el cual se ingresan todos los datos de la nueva estación. La Figura 17 ilustra esta función.

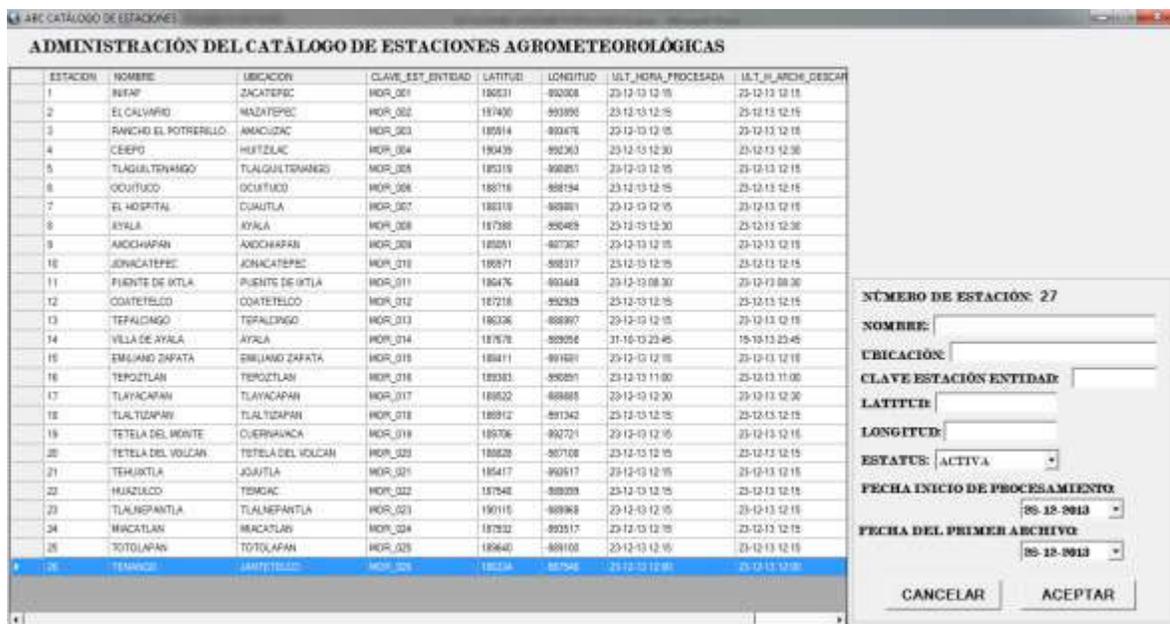


Figura 17.- Agregar una nueva estación agrometeorológica.

### 2.2.3 Modificar el registro de una estación agrometeorológica

Para modificar los datos del registro correspondiente a una EAM, primero se selecciona la estación de interés. La selección se puede hacer de dos maneras diferentes: con el ratón se coloca el cursor sobre el registro y se lo selecciona; o se usa una de las flechas de color verde que indican la dirección hacia arriba o hacia abajo, es decir, el cursor se moverá a la hilera superior o inferior respectivamente, como se puede observar en la Figura 18.

ADMINISTRACION DEL CATALOGO DE ESTACIONES AGROMETEOROLOGICAS

ESTACION	NOMBRE	UBICACION	CLAVE_EST_ENTIDAD	LATITUD	LONGITUD	ULT_HORA_PROCESADA	ULT_HO_ARCHE_DESCAR
1	NUM	COCHITLPEC	MOR_001	186317	903638	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
2	EL CALVARIO	MAZATEPEC	MOR_002	187430	893895	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
3	RANCHO EL POTRERILLO	AMOZILAC	MOR_003	189514	893476	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
4	CERRO	HUEZILAC	MOR_004	190439	892363	23-12-13 12:30	23-12-13 12:30
5	TLAQUILTRANANGO	TLAQUILTRANANGO	MOR_005	185319	898251	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
6	OCUTLICO	OCUTLICO	MOR_006	188718	888194	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
7	EL HOSPITAL	CUAUTLA	MOR_007	188318	888881	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
8	AYALA	AYALA	MOR_008	187388	890409	23-12-13 12:30	23-12-13 12:30
9	ANICHAPAN	ANICHAPAN	MOR_009	189511	897367	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
10	JONACATEPEC	JONACATEPEC	MOR_010	189871	898317	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
11	FUENTE DE OTLA	FUENTE DE OTLA	MOR_011	186476	893448	23-12-13 08:30	23-12-13 08:30
12	COATEPELCO	COATEPELCO	MOR_012	187218	892929	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
13	TEPALLINGO	TEPALLINGO	MOR_013	186336	888967	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
14	VILLA DE AYALA	AYALA	MOR_014	187678	889256	31-10-13 23:45	15-10-13 23:45
15	EMILIANO ZAPATA	EMILIANO ZAPATA	MOR_015	188411	891681	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
16	TEPOZTLAN	TEPOZTLAN	MOR_016	189383	890251	23-12-13 11:00	23-12-13 11:00
17	TLAYACAPAN	TLAYACAPAN	MOR_017	189802	888888	23-12-13 12:30	23-12-13 12:30
18	TLALTZAPAPAN	TLALTZAPAPAN	MOR_018	188912	881342	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
19	TETELA DEL MONTE	CUERNAVACA	MOR_019	189706	892721	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
20	TETELA DEL VOLCAN	TETELA DEL VOLCAN	MOR_020	188828	897108	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
21	TEHUXTLA	JOAUTLA	MOR_021	185417	890617	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
22	HUATLUCO	TEHUAC	MOR_022	187548	888099	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
23	TLALNEPANTLA	TLALNEPANTLA	MOR_023	190115	889968	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
24	MACATLAN	MACATLAN	MOR_024	187832	892517	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
25	TOTOLAPAN	TOTOLAPAN	MOR_025	189640	889100	23-12-13 12:15	23-12-13 12:15
26	TENANGUI	JANITTELCO	MOR_026	188334	887548	23-12-13 12:00	23-12-13 12:00

AGREGAR    REGISTRO

MODIFICAR   

ELIMINAR   

SALIR

Figura 18.- Selección de registros de estaciones agrometeorológicas.

Una vez seleccionado el registro que se desea modificar, se selecciona la opción “modificar”. Esto hace que aparezcan los datos de la EAM elegida. Se pueden modificar todos los campos excepto el número de estación. Los cambios realizados de forma exitosa en los datos de un registro aparecen instantáneamente en el cuadro de la interfaz.

Si se invoca la opción “modificar” sin haber seleccionado un registro (una EAM), el sistema muestra una ventana informativa con un mensaje indicando que para realizar esa operación es necesario seleccionar algún registro.

### 2.2.4 Eliminación de una estación agrometeorológica

El registro de una EAM puede ser eliminado para que el sistema no las contemple. Este proceso cambia el “estatus”; la eliminación física del registro de una EAM es una actividad exclusiva del administrador de la base de datos.

Una EAM puede ser eliminada de la red debido a varias circunstancias, por ejemplo por mal funcionamiento. Para realizar la operación de eliminación del registro de una EAM se deben

seguir los mismos pasos que para la modificación. Primero se selecciona el registro deseado y luego se indica que se desea eliminar la EAM correspondiente. Antes de eliminar el registro se muestra una ventana para confirmar la eliminación (como muestra la Figura 19): si la respuesta es afirmativa, se marca el registro cambiando el estatus, como se mencionó antes.

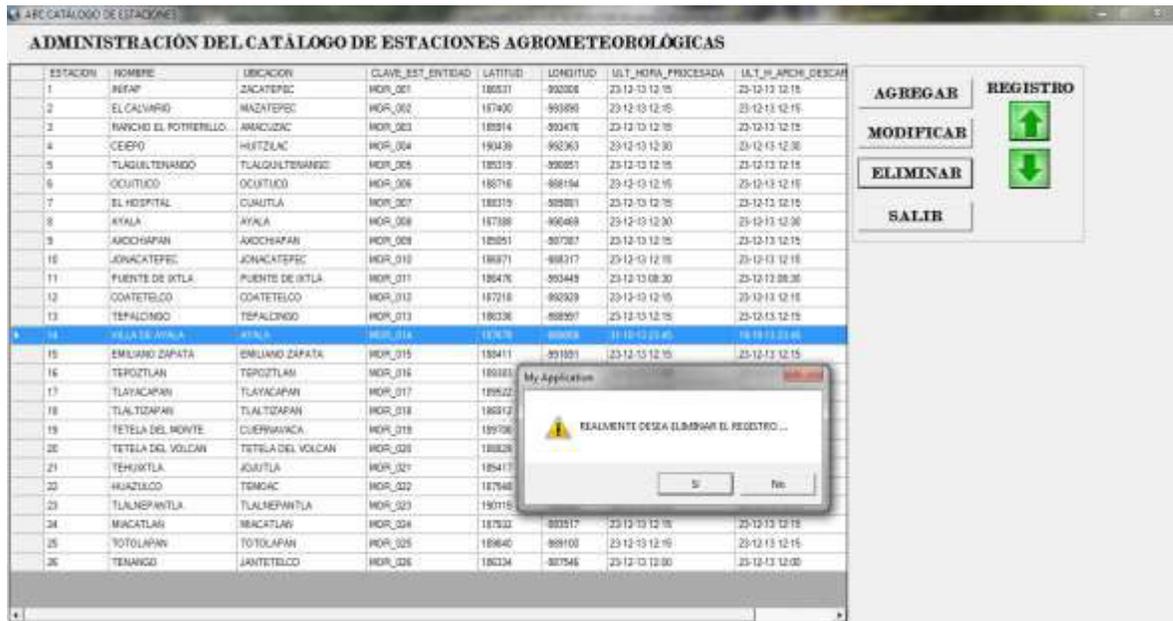


Figura 19.- Eliminación de una estación agrometeorológica.

### 2.3 Descarga de archivos de clima

Ya se describieron los archivos (en formato CSV) que actualizan cada 15 minutos las EAM. Los archivos residen en un servidor del IMTA que administra los datos de clima registrados por las EAM. En el servidor del IMTA los archivos se almacenan en una carpeta con el nombre del año en el que fueron tomadas las mediciones por las EAM, dividida en carpetas por cada mes del año, y cada una de ellas contiene otra carpeta por cada día del mes. Esta carpeta contiene los archivos CSV de cada estación. En la computadora local se crean directorios con el mismo principio. Todos estos directorios residen dentro del directorio de trabajo del sistema, indicado por el usuario cuando hace la instalación del sistema o en cualquier momento posterior.

## 2.4 Agente para la descarga de archivos de clima

El módulo de agente para la descarga de archivos de clima, se diseñó de modo que se ejecute de manera automática mediante un dispositivo que activa las descargas. Cuando el agente detecta que no está un archivo, lo omite para procesarlo en el siguiente intento. En cada instancia, el agente copia los archivos ubicados en el servidor a la computadora local.

La ejecución se puede hacer cada hora (se especificaría la hora y 10 minutos, para contemplar el proceso de transferencia de datos de la EAM al servidor del IMTA). Sin embargo, se puede modificar este intervalo si se necesitaran datos con mayor o menor frecuencia.

El agente de búsqueda se conecta al servidor del IMTA y uno por uno verifica que se encuentre el archivo en cuestión. En caso positivo lo baja a la computadora con el comando: `My.Computer.Network.DownloadFile(Url, Path)`. El comando recibe dos parámetros: el primero es la dirección electrónica del servidor donde se encuentra el archivo en cuestión y el segundo especifica la ruta local donde se almacenan los archivos descargados.

El nombre de los archivos está formado por el nombre de la estación y la fecha en la que fueron registrados los datos que contiene. Por ejemplo el archivo `MOR_001_20130815.csv` corresponde a la estación ubicada en las instalaciones del INIFAP Campo Experimental Zacatepec, donde MOR representa a la estación que corresponde a la red de EAM del estado de Morelos, 001 representa a la estación que tiene asignado el número 1 dentro de la red, y 20130815 indica que el archivo contiene datos medidos el 15 de agosto del 2013.

Con los elementos descritos en los dos párrafos anteriores y la fecha en la que se ejecuta el programa, el agente selecciona los archivos que debe descargar. La función central para la descarga de archivos es la siguiente:

```
Public Class clsArma_Path
```

```
Public Shared mes As String, dia As String
```

```
Public Shared DIR_URL As String, DIR_LOCAL As String
```

```
Public NOM_ARCHIVO_URL As String, NOM_ARCHIVO_LOCAL As String
```

```
Public Shared Function ARMA_PATH(ByVal DIRECTORIO As String, ByVal NOMBRE As String, _  
ByVal A As Integer, ByVal M As Byte, ByVal D As Byte, ByVal tip As Byte) As String  
    mes = Format(M, "00")  
    dia = Format(D, "00")
```

```
    If tip = 1 Then
```

```
        DIR_URL = DIRECTORIO & "/" & A & "/" & mes & "/" & dia & "/"
```

```
        NOM_ARCHIVO_URL = NOMBRE & A & mes & dia & ".csv"
```

```
        ARMA_PATH = DIR_URL & NOM_ARCHIVO_URL
```

```
    Else
```

```
        DIR_LOCAL = DIRECTORIO & "\" & A & "\" & mes & "\" & dia & "\"
```

```
        NOM_ARCHIVO_LOCAL = NOMBRE & A & mes & dia & ".csv"
```

```
        ARMA_PATH = DIR_LOCAL & NOM_ARCHIVO_LOCAL
```

```
    End If
```

```
End Function
```

```
Public Shared Function ARMA_PATH_PLANO(ByVal DIR_DEFAULT As String, ByVal ANI  
As _ Integer, ByVal EST As String)
```

```
    ARMA_PATH_PLANO = DIR_DEFAULT & "\" & ANI & "\CLIMA_TOTAL_" & ANI & _  
        "\CLIM.ESTACM." & EST & ".vvr"
```

```
End Function
```

```
End Class
```

La clase `clsArma_Path` contiene dos funciones “*ARMA\_PATH*” y “*ARMA\_PATH\_PLANO*”.

- *ARMA\_PATH* : Recibe los parámetros DIRECTORIO, NOMBRE, A, M, D, tip, donde DIRECTORIO indica el directorio de trabajo
- NOMBRE indica el nombre del archivo a descargar armado de la forma que se indicó en párrafos anteriores
- A, M y D indica el año, mes y día correspondiente a la toma de los datos
- tip es un código del tipo de archivo que se va a procesar
  - 1 = para armar la ruta del archivo en el servidor
  - DIFERENTE = para armar la ruta local en el equipo donde reside el sistema.

*ARMA\_PATH\_PLANO*: Recibe los parámetros *DIR\_DEFAULT*, *ANI*, *EST*, donde *DIR\_DEFAULT* indica el directorio de trabajo, *ANI* hace referencia al año en el que se registró el dato y *EST* indica el número de la estación donde se tomó el dato. El resultado de esta función es la ruta con el nombre del archivo donde se guardan los datos tomados cada 15 minutos (el archivo anual para cada EAM).

## **2.5 Modelo de datos**

El modo de ofrecer los datos de clima a las aplicaciones que puedan aprovecharlos consiste en concentrar todos los datos en una sola estructura. Para ese fin, se diseñó una base de datos que se denominó “clima\_estaciones”. Ya se mencionó que tiene una tabla llamada “ESTACIONES” que contiene un catálogo de las EAM de la red.

Se estudiaron los posibles usos de los datos en cuanto a su agrupación. Por ejemplo, pudiera ser que una aplicación necesita datos de una EAM pero para varios días, o aún meses. Cuando se usaban los archivos “horarios” creados, éstos eran por día, de modo que para usar datos de varios días se tenían que procesar varios de estos archivos. En el capítulo de “enfermedades” se verá que el cálculo de riesgos de ese tipo usa datos de días consecutivos, lo que originaba que el trabajo se hiciera a mano (un investigador obtenía los datos y determinaba los riesgos).

Otro tipo de uso puede involucrar usar datos de varias estaciones como es el caso en la consulta a clima que se describe en el siguiente capítulo. Ahí se obtiene el clima en un punto del estado de Morelos mediante una interpolación de los datos correspondientes de las EAM más cercanas.

Finalmente, para otro tipo de consultas, se pueden necesitar datos de más de un mes o año. Todo esto condujo al diseño de las tablas que se describen a continuación. Hay un comentario sobre la naturaleza de estas tablas, en especial sobre la no-normalización de las mismas, que sigue a dicha descripción.

La base de datos “clima\_estaciones” contiene 26 tablas: la mencionada “ESTACIONES” y otras 25 que contienen la información de las estaciones climatológicas, una tabla por estación.

El nombre de estas tablas está formado por la constante “EST” concatenada con el número de la EAM (con tres dígitos). Cabe mencionar que, a pesar de que en la red que nos ocupa sólo se necesitan dos dígitos, se amplió la capacidad para que no resultara en una restricción para el uso del sistema en redes con un número mayor de estaciones.

Como estrategia para la optimización de espacio en el disco duro, los datos numéricos de tipo decimal se multiplican por 10 (no hay ningún dato de clima que se reporte con más de 1 dígito decimal) para convertirlos en enteros. Un número decimal ocupa 8 bytes mientras que un entero (tipo entero largo) ocupa 4 bytes. El único dato que llega entero es la HUMEDAD RELATIVA (que es un porcentaje reportado sin cifras decimales).

Se describe a continuación la tabla EST001, puesto que las otras ESTnnn tienen exactamente la misma estructura. Esta tabla EST001 contiene toda la información de las 10 variables de clima reportadas por la EAM número 1. Su índice principal está formado por los tres campos: ANIO, MES y DIA. Observe que se manejan en forma individual (en lugar de como fecha) para aprovechar el índice en forma parcial, por ejemplo para obtener los registros de un mes.

En cada registro, se almacenan los 24 valores (uno por hora “cerrada”, de 0 a 23) para cada una de las 10 variables meteorológicas que reportan las EAM. De ese modo, un registro contiene la información de un día completo.

Se crean 24 campos para cada variable, y el sistema las maneja como un arreglo. La Tabla 5 muestra la estructura de la tabla EST001 (y por ende, de las correspondientes a las otras EAM).

Tabla 5.- Tabla EST001(correspondiente a la estación número 1).

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Comentario</b>
ANIO	Año del dato	Entero	
MES	Mes de dato	Entero	
DIA	Día del dato	Entero	
DIA JULIANO	Día juliano de dato	Entero	
ESTACION	Número de la estación	Entero	
ULT_HORA_ACTUALIZADA	última actualización	Entero	Fecha-hora último cambio
P0, P1, P2, ... P23	Precipitación	Entero	Son 24 campos similares
DV0, DV1, DV2 ...DV23	Dirección del viento	Entero	Son 24 campos similares
VV0, VV1, VV2 ... VV23	Velocidad del viento	Entero	Son 24 campos similares
VVMAX0,VVMAX1... VVMAX23	Max. Velocidad viento	Entero	Son 24 campos similares
HH0, HH1, HH2 ... HH23	Humedad de la hoja	Entero	Son 24 campos similares
PYR0, PYR1, PYR2 ... PYR23	(Radiación solar)	Entero	Son 24 campos similares
H0, H1, H2 ... H23	Humedad relativa	Entero	Son 24 campos similares
T0, T1, T2 ... T23	Temperatura	Entero	Son 24 campos similares
TMAX0, TMAX1 ... TMAX23	Temperatura máxima	Entero	Son 24 campos similares
TMIN0, TMIN1 ... TMIN23	Temperatura mínima	Entero	Son 24 campos similares

Cada uno de los nombres de los campos que contienen información climática está formado por un prefijo (que indica de qué variable climática se trata) seguido por la hora (hasta 2 dígitos) de la medición.

Se describen a continuación los campos cuyos nombres no indican totalmente su significado:

*DIA\_JULIANO*: Representa la fecha juliana del día de ese año.

*ESTACION*: Representa el número de la EAM donde se tomó el dato. Observe que este dato es superfluo puesto que todos los registros son de la tabla que contiene el número de EAM. Sin embargo, en algunas aplicaciones este campo puede ser de utilidad, especialmente cuando se combinan datos de varias de estas tablas.

*ULT\_HORA\_ACTUALIZADA*: Representa la hora puntual de la última inserción de datos a la tabla.

Cada una de estas series de campos está compuesta por 24 campos. Además, la leyenda “valor observado multiplicado por 10” indica que el valor que llega tiene una cifra decimal, pero se almacena como número entero en la base de datos.

*P0...P23*: Representan la precipitación tomada por la estación, donde el número después de la letra P representa la hora correspondiente a la hora en la que fue tomado el dato. “valor observado multiplicado por 10”.

*DV0... DV23*: Representan la dirección del viento, donde el número después de las letras DV representan la hora correspondiente en la que se registró el dato. “valor observado multiplicado por 10”.

*VV0... VV23*: Representan la velocidad del viento, donde el número después de las letras VV representan la hora correspondiente en la que se registró el dato. “valor observado multiplicado por 10”.

*VVMAX0...VVMAX23*: Representan la velocidad del viento máxima registrada en esa hora, donde el número después de las letras VVMAX representan la hora correspondiente en la que se registró el dato. “valor observado multiplicado por 10”.

*HH0... HH23*: Campos Representan la humedad de la hoja, donde el número después de las letras HH representan la hora correspondiente en la que se registró el dato. “valor observado multiplicado por 10”.

*PYR0... PYR23*: Representan la radiación solar registrada en esa hora, donde el número después de las letras PYR representan la hora correspondiente en la que se registró el dato. “valor observado multiplicado por 10”.

*H0... H23*: Representan la humedad relativa registrada en esa hora, donde el número después de la letra H representan la hora correspondiente en la que se registró el dato.

*T0... T23*: Representan la temperatura registrada en esa hora, donde el número después de la letra T representan la hora correspondiente en la que se registró el dato. “valor observado multiplicado por 10”.

*TMAX0... TMAX23*: Representan la temperatura máxima registrada en esa hora, donde el número después de las letras TMAX representan la hora correspondiente en la que se registró el dato. “valor observado multiplicado por 10”.

*TMIN0...TMIN23*: Representan la temperatura mínima registrada en esa hora, donde el número después de las letras TMIN representan la hora correspondiente en la que se registró el dato. “valor observado multiplicado por 10”.

La base de datos contiene una tabla, con exactamente la misma estructura, por cada una de la EAM existentes. Se adoptó este diseño en lugar de construir una sola tabla (que tendría el número de EAM como parte del índice principal) puesto que en casi todas las aplicaciones se usarán datos de una estación a la vez. Naturalmente se pueden consultar o procesar datos de varias estaciones aún con el diseño propuesto.

#### Comentario técnico sobre estas tablas

Se concibió este diseño con varios fines. Además de ahorrar espacio en disco (lo reduce considerablemente) y acelerar la actualización de los datos que llegan, permite usar datos de diferentes horas del mismo día, así como cruzar información entre las mediciones de varios días, sin tener que recurrir a otras estructuras. Observe que se podía lograr el mismo propósito con otro diseño más “evidente” pero especialmente, normalizado, agregando a la clave principal la HORA (0, 1, ..., 23) y evitando de este modo los “vectores” correspondientes a cada una de las variables de clima. Pero tal diseño no sólo hubiera multiplicado por 24 el número de registros, sino las consultas hubieran sido más caras tanto en su ejecución como en el uso de los datatables (o recordsets, cursores, tablas) resultantes. De hecho, el diseño más normal hubiera sido crear registros con la clave: Año, mes, día, variable, hora, tendría un número de registros 240 veces mayor al que resultó del diseño adoptado y descrito previamente.

## **2.6 Actualización de la base de datos**

Como se explicó anteriormente, los agentes actualizan las hojas de cálculo (en formato CSV) en la computadora que se usa para actualizar la base de datos. Hay un programa que se ejecuta también en forma automática, es decir sin intervención humana, que actualiza la base de datos de clima con las nuevas observaciones.

Este proceso consiste en lo siguiente:

- Accesa una tras otra las tablas de cada estación de la base. Carga los registros del día (hoy) y el de ayer (por si hay información atrasada). Si no está el registro de “hoy”, lo

crea con valores default (nulos (*null*) en todos los campos excepto el número de estación, el día juliano (que se calcula para tal efecto) y naturalmente los campos que componen la clave principal.

- Obtiene la hora de última actualización
- Abre el archivo de esa EAM y ese día (hoy). Por excepción, podrá también necesitar el archivo de “ayer”.
- Obtiene de la hoja de cálculo las mediciones de cada variable para cada hora cerrada. Esto lo hace calculando las hileras que tienen esos datos, es decir, las hileras  $N + 4$ ,  $N + 8$ , etc., donde  $N$  es el número de hileras que preceden a la primera observación y que corresponden a encabezados.
- Actualiza el campo correspondiente del registro del día del archivo del que consigue las observaciones. Observe que para todas las variables excepto la humedad relativa, los multiplica por 10.
- Regraba la tabla de la EAM, y procede a la siguiente.

## **2.7 El archivo anual para cada estación agrometeorológica**

Las EAM registran datos con una frecuencia de 15 minutos. A pesar de que la mayoría de las aplicaciones sólo usarán los datos de horas puntuales, el sistema contempla la necesidad de recurrir a las mediciones en horas “no puntuales”. Por lo tanto, en lugar de conservar los archivos (diarios) obtenidos del servidor del IMTA, se guardan en un conjunto de archivos, cada uno de los cuales tiene la información de una EAM *de todo el año*.

Estos archivos están en un directorio llamado CLIMA\_TOTAL\_2013, donde el número “2013” indica el año en el que fueron medidos los datos contenidos en los archivos dentro de dicho directorio, que a su vez se encuentra ubicado dentro del directorio correspondiente al año en el que se registran los datos por las EAM. Estos directorios anuales también residen en el directorio de trabajo elegido por el usuario.

Para armar la ruta donde se almacenan estos archivos se utiliza la misma clase `clsArma_Path` que los programas de descarga de archivos y actualización de a base de datos. El nombre de los

archivos es CLIM.ESTACM.1.vvr, donde CLIM es la abreviación de clima, ESTACM significa estación de Morelos, 1 correspondiente al número que identifica a la estación dentro de la red, y vvr es la extensión del tipo de archivos que utiliza el sistema.

El criterio de diseño fue minimizar el número y el tamaño de archivos, pero especialmente que permita el uso de datos de varios meses, días u horas de la misma estación sin tener que usar varios archivos. El archivo tiene un registro “base” que contiene la fecha de la última actualización del archivo, y un registro para cada uno de los 366 días (si el año no es bisiesto, sólo se usan 365 de ellos). El archivo se usa con el método de acceso aleatorio: se consultan los datos correspondientes a un día mediante su fecha juliana (se le suma 1 por la presencia del registro base).

Cada registro del archivo contiene los datos de las 10 variables que miden las EAM en ese día, para cada una de las 96 mediciones posibles (una cada 15 minutos). Para los interesados en aspectos técnicos se muestra la estructura utilizada (en la notación de VB.net).

```
Public Structure S_día
    Public Anio As Integer
    <VBFixedArray(95)> Public Precipitacion() As Integer
    <VBFixedArray(95)> Public Dir_viento() As Integer
    <VBFixedArray(95)> Public Vel_viento() As Integer
    <VBFixedArray(95)> Public Vel_viento_max() As Integer
    <VBFixedArray(95)> Public Humedad_hoja() As Integer
    <VBFixedArray(95)> Public Piranometro() As Integer
    <VBFixedArray(95)> Public Humedad_relativa() As Byte
    <VBFixedArray(95)> Public Temperatura() As Integer
    <VBFixedArray(95)> Public Temperatura_max() As Integer
    <VBFixedArray(95)> Public Temperatura_min() As Integer
End Structure
```

## 2.8 Hoja de cálculo de horas puntuales

En la actualidad el cálculo de riesgos de enfermedades en cultivos se realiza de forma manual utilizando solamente datos de horas puntuales, para lo cual se debe contar con un archivo por estación que contenga los registros tomados en horas puntuales. Para hacer posible el funcionamiento del procedimiento actual del cálculo de riesgos de enfermedades, el sistema

elabora una hoja de cálculo por cada EAM con estos datos para cada día. Observe que este proceso se podrá eliminar del proceso automatizado en cuanto se comience a usar el nuevo sistema de cálculo de riesgos de enfermedades descrito en el capítulo dedicado a estos cálculos.

El módulo solicita al usuario que seleccione el día de interés: con este dato el sistema consulta cada una de las tablas de la base de datos de clima correspondientes a cada EAM y crea una hoja de cálculo de Excel. Se incluyen como columnas los datos de las 10 variables registradas en el día seleccionado, mientras que las filas están dadas por cada una de las 24 horas (comenzando por la “00”). Estas hojas sirven para hacer el cálculo de riesgos posibles para el desarrollo de enfermedades en los cultivos. En la Figura 20 se reproduce la forma que solicita los parámetros para la creación de las hojas de cálculo.

The image shows a screenshot of a software application window. The title bar at the top reads "EXPORTACIÓN DE DATOS DE CLIMA". Below the title bar, the main heading is "CONSULTA DE DATOS DE CLIMA POR FECHA". There are three input fields: "FECHA DE INTERES:" with a dropdown menu showing "06-01-2014", "DIRECTORIO DESTINO:" with a text box containing "C:\CLIMA\_MOBELOS", and a "BUSCAR" button to the right of the directory field. At the bottom of the window, there are two buttons: "EXPORTAR A EXCEL" and "SALIR".

Figura 20.- Elaboración de hojas de cálculo de horas puntuales.

### **Ventajas del nuevo sistema**

El proceso manual que se realiza actualmente para crear las mismas hojas de cálculo con datos de horas puntuales es laborioso y tardado. El nuevo proceso lo hace de manera instantánea: la duración depende de la velocidad con la que se pueden bajar los archivos de Internet. Además de la reducción de recursos humanos, esto permite ofrecer la información sin rezagos considerables.

La base de datos ofrece posibilidades adicionales a las que había sin el sistema. Por ejemplo las consultas a clima descritas en el siguiente capítulo hubieran sido posibles sin esta base de datos, pero con un costo muy significativo de programación por el uso de muchas hojas de cálculo, amén de un proceso considerablemente más prolongado. Es difícil calcular cuánto más largo hubiera sido, pero se puede afirmar que seguramente una consulta típica hubiera tardado por lo menos 10 veces más (aunque probablemente este factor estuviera más cercano a 50 en algunas consultas).

## CAPITULO III. DIVULGACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE CLIMA

### 3.1. Introducción

Las EAM informan cada 15 minutos los valores de las 10 variables que se muestran en la Tabla 6. Como se ha explicado en el apartado anterior, esta información se concentra a detalle, pero también se actualiza una base de datos con las observaciones a nivel horario, es decir, en horas puntuales.

Tabla 6.- Variables registradas por las EAM.

1.- Precipitación	6.- Radiación solar
2.- Dirección del viento	7.- Humedad relativa
3.- Velocidad del viento	8.- Temperatura
4.- Velocidad del viento máxima	9.- Temperatura máxima
5.- Humedad de la hoja	10.- Temperatura mínima

Se implementaron dos modos de usar la información sobre clima. Se pueden obtener los datos recibidos de cualquiera de las EAM a detalle. Pero también se pueden obtener valores de variables climáticas de interés para cualquier lugar de la zona contemplada, en esta investigación, del estado de Morelos. Para ello, el sistema calcula dichos valores interpolando los de las estaciones más cercanas. Cabe agregar que esta última consulta se desarrolló porque no se encontró alguna similar en la literatura ni en la práctica.

### 3.2 Consulta de valores a detalle de una EAM

Esta consulta permite obtener datos de clima reportados por las EAM al detalle, es decir, cada 15 minutos. El usuario, selecciona la estación de interés e indica una fecha inicial y una fecha final (deben ser del mismo año). Se pueden solicitar los valores cada 15', pero también se pueden limitar los valores desplegados a los registrados cada 30', 45' o los de horas cerradas.

El módulo permite al usuario seleccionar la estación de interés, mostrada por su nombre, y una fecha inicial y una fecha final. Además puede seleccionar los intervalos en minutos con los que

quiere que se le proporcionen los datos. Estas selecciones se hacen mediante un formato como el que se observar en la Figura 21.

The screenshot shows a window titled "CONSULTA DE VARIABLES TOMADAS CADA 15 MINUTOS". Inside the window, there is a form with the following fields and controls:

- ESTACIÓN:** A dropdown menu with "INIFAP" selected.
- FECHA INICIAL:** A dropdown menu with "01-01-2014" selected.
- FECHA FINAL:** A dropdown menu with "06-02-2014" selected.
- CARGAR ARCHIVO:** A button.
- SALIR:** A button.
- REGISTROS:** A section with radio buttons for:
  - Todos
  - Horas cerradas (selected)
  - 15 Minutos
  - 30 Minutos
  - 45 Minutos

Figura 21.- Consulta de mediciones de clima registradas cada 15 minutos.

Como se mencionó en el capítulo anterior, los archivos diseñados para almacenar las mediciones realizadas por las EAM con una frecuencia de 15 minutos, únicamente contienen registros tomados en un año, es decir, los archivos contienen información anual. Cuando en este módulo se indican como parámetro dos fechas con diferente número de año, el sistema muestra un mensaje informando que las consultas a los archivos deben contener un rango de fechas con el mismo año.

La información de clima registrada cada 15 minutos por las EAM se visualizan en una interfaz compuesta por un cuadro que muestra la información general de la estación y una serie de pestañas, donde cada una de las pestañas contiene las mediciones de las variables. A su vez cada pestaña contiene una tabla donde las hileras corresponden a los días incluidos en el rango de fechas solicitado, mientras que las columnas muestran los valores de ese día, en intervalos de acuerdo a lo seleccionado (24 columnas para las frecuencias seleccionadas y 96 columnas para el detalle general, una por cada 15 minutos del día). La interfaz descrita en este párrafo se puede observar en la Figura 22.

ARCHIVO CON DATOS DE CADA 15 MINUTOS

DATOS GENERALES DEL ARCHIVO  
 NOMBRE ESTACIÓN: **INTPAP**  
 NUM. ESTACIÓN: **1** AÑO DEL ARCHIVO: **2014** ULTIMA ACTUALIZACIÓN: **31-01-14 12:15:00** DIA JULIANO ACTUALIZACIÓN: **31**

PRECIPITACIÓN	DIRECCIÓN VIENTO	VELOCIDAD VIENTO	VEL. VIENTO MÁX.	HUMEDAD 100%	RADIACIÓN SOLAR	HUMEDAD RELATIVA	TEMPERATURA	TEMPERATURA MÁX.	TEMPERATURA MÍN.														
FECHA	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	
01-01-2014	14.5	13.3	14.3	14.4	14.1	13	12.5	11.4	12.1	12.9	11.4	14.6	16.4	17.7	16.7	16.7	19.1	18.5	16.9	15.5	15.7	15.3	19.6
02-01-2014	13.3	12.2	11.2	10.9	10.3	10	9.3	8.3	9.7	12.7	10.3	12.7	12.7	12.5	12.2	12.7	10.9	10.3	12.3	11	12.9	12.5	12.9
03-01-2014	12.1	12.4	12.9	12.9	14.9	13.6	13	12.9	12.7	12.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9
04-01-2014	13.2	12.9	11.5	10.5	11.2	10.2	9.3	8.5	10.2	12	10.2	14.5	17.1	16.5	16.7	16.5	18.1	18.9	14	12.4	12.9	12.9	12.6
05-01-2014	12.9	12.9	12.3	12.7	12.7	12.3	12.9	12.7	12.1	12.5	11	12.1	12.1	12.7	12.7	12.3	12.7	12.3	12.4	11.6	12.6	14.3	14.3
06-01-2014	12.9	12.1	10.7	9.7	8.9	8.3	8	7.4	8.3	14.3	12.3	11.2	12.3	12.3	12.2	12.9	12.1	12.5	12.7	12.5	12.5	14.3	14.3
07-01-2014	11.4	10.5	9.7	8.1	8.2	7.7	7.2	7.2	8.4	12.3	12.4	12	12.9	12.5	12.9	12.5	12.6	11.1	12.9	12.2	12.3	12.3	12.2
08-01-2014	12.2	12.4	12.3	12.3	11.9	10.6	10.4	10.2	11.7	12.6	11.6	14.7	16.8	16.9	16.2	16.7	16.7	16	12.6	12.7	12.3	12.1	12.1
09-01-2014	12.7	14.3	12.9	12.7	11.7	12.3	11.1	10.2	12.4	12.7	10.9	14.6	16.3	16.1	16.9	11.1	11.9	11.3	12.3	12.3	12.1	12.9	12.9
10-01-2014	12.9	12.9	12.2	12.4	12.9	14	14	11.3	12.9	12.6	12	12.9	12	12.7	12	12.4	11.4	11.3	12.3	12.9	12.1	12.1	12.2
11-01-2014	14.7	12.1	12.7	11.4	10.7	10.5	9.7	8.3	10.9	12.6	11.1	14.8	17	16.5	16.5	11.5	11.5	11.6	12	11.7	12	12.9	12.9
12-01-2014	14.7	12.1	12.7	11.4	10.7	10.5	9.7	8.3	10.9	12.6	11.1	14.8	17	16.5	16.5	11.5	11.5	11.6	12	11.7	12	12.9	12.9
13-01-2014	14.7	12.1	12.7	11.4	10.7	10.5	9.7	8.3	10.9	12.6	11.1	14.8	17	16.5	16.5	11.5	11.5	11.6	12	11.7	12	12.9	12.9
14-01-2014	14.7	12.1	12.7	11.4	10.7	10.5	9.7	8.3	10.9	12.6	11.1	14.8	17	16.5	16.5	11.5	11.5	11.6	12	11.7	12	12.9	12.9
15-01-2014	13.5	14.3	14.3	12.3	12.3	12	12.1	12.2	12	12.7	11.1	12	12.9	12.7	12.1	12	12.5	12.5	14.8	12.3	12.1	12.1	12.1
16-01-2014	14.6	14.7	11.3	10.3	10.4	8.4	7.7	7	8.5	12.9	12.6	12	11.3	12.5	12.2	14.1	14.9	12.9	12.1	14.3	12.6	12.6	12.6
17-01-2014	10.4	10.1	8.9	8.4	7.5	7.4	7.2	6.7	9.4	14.7	12.5	10.5	14.5	12.5	12.7	12.6	12.9	12	12.5	12.9	12.9	12.9	12.9
18-01-2014	11.4	10.4	9.7	10.9	12.3	9.4	8.5	7.8	7.5	14.7	12.2	11.3	12	12.1	12.4	12.7	12.7	12.9	12.3	12.3	14.8	12.3	12.3
19-01-2014	10.3	9.9	9.3	8.1	7.8	6.9	6.6	6.1	7.5	12.7	12	11.2	12	12	12	12.9	12	12.7	12.2	12.3	12.7	12.1	12.3
20-01-2014	12.4	11.2	10.2	9.1	8.1	7.4	7.1	6.5	8.7	14.4	12.3	11.2	12	12	12.5	12.7	12.4	12.3	12.3	12.4	12.2	12.2	12.9
21-01-2014	14.2	12.7	12.1	10.5	10.3	9.7	8.5	7.7	9.2	12.5	12.5	12.7	12.7	12.6	11.3	12.4	12.2	12.3	12.1	12.4	12.4	12.4	12.3

REGRESAR EXPORTAR A EXCEL

Figura 22.- Valores de variables registradas cada 15 minutos.

### 3.3 Consulta de variables de clima en cualquier lugar del estado de Morelos

La consulta de clima en cualquier parte del estado de Morelos permite obtener ciertos datos meteorológicos en cualquier punto de una zona geográfica en base a los datos recabados por las EAM. Para ello, dadas las coordenadas geográficas del punto de interés, el sistema calcula los valores para ese lugar mediante una interpolación de los valores en las estaciones más cercanas.

En el subcampo matemático del análisis numérico, se denomina interpolación a la obtención de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos. “La interpolación es una técnica muy útil para aproximar funciones y también para estimar valores intermedios de las mismas en una serie de datos” (Izar, 1998).

El usuario de la consulta selecciona en un mapa el punto de interés. El sistema calcula las variables climáticas que se muestran en la Tabla 7, interpolando las de las EAM más cercanas.

Tabla 7.- Variables calculadas por el sistema.

1.- Temperatura promedio	6.- Precipitación acumulada
2.- Temperatura máxima	7.- Radiación solar máxima
3.- Temperatura mínima	8.- Humedad de la hoja máxima
4.- Humedad relativa máxima	9.- Velocidad del viento máxima
5.- Humedad relativa mínima	

Se indican como parte de la consulta cuáles de ellas se desea conocer, y el sistema muestra los resultados. La interpolación está descrita en una sección especial más abajo.

Se ofrece una consulta adicional a detalle: se puede obtener una lista de valores de las 10 variables reportadas por las EAM a cada hora de los días indicados en el rango de fechas.

La consulta se implementó usando un programa que reside en la computadora del usuario. La base de datos con las observaciones de las EAM, así como los archivos planos con los datos de clima de las EAM a detalle, puede residir en otra computadora, en particular, en el servidor mediante el cual se ofrece este servicio. En una siguiente etapa se implementará esta misma consulta como página de Internet, pero esto no fue parte del proyecto de investigación que se describe.

La consulta que permite conocer los valores de algunas de las variables reportadas por las EAM así como las otras – mencionadas anteriormente – para cualquier punto del estado de Morelos se invoca usando una forma como la ilustrada en la Figura 23, en la cual se pueden apreciar las variables de clima ofrecidas.



Figura 23.- Interfaz para indicar las variables y el rango de días de interés.

El usuario selecciona una o más variables, indica un rango de fechas y oprime “CONSULTAR”. Inmediatamente aparece una forma como la que muestra la Figura 24 que contiene un mapa del estado de Morelos sobre el cual se muestran las EAM. Con un *click* del ratón de la computadora se indica el lugar de interés: el sistema calculará las coordenadas del punto seleccionado con una “regla de tres” basada en las coordenadas extremas del mapa.

Alternativamente, puede teclear las coordenadas en los espacios provistos para dicho efecto. En este caso, el sistema le avisará si señaló un punto fuera del mapa de Morelos.

Para la selección de las variables calculadas de interés, se puede solicitar una única o pedir varias de ellas. Las variables pueden ser seleccionadas o deseleccionadas una por una o todas de una sola vez. Como se aprecia en la Figura anterior, esto se logra con las funciones “TODAS” o “NINGUNA”. Si no selecciona ninguna de las variables, obtendrá una advertencia del sistema.

El resultado de la consulta será una lista de los datos seleccionados en el punto de interés que indique en el siguiente paso.

### **3.3.1 Indicación del punto geográfico para el cual desea conocer el clima**

El segundo paso de la consulta es la indicación del lugar del cual se desean los datos climáticos. El programa reacciona a una selección de un punto mostrando los resultados. Se pueden seleccionar -uno tras otro - varios puntos, y se aplicarán los mismos criterios de selección de fecha y cuáles variables desea conocer (las que están activas), a partir del paso anterior.

Para ello el sistema muestra la forma ilustrada en la Figura 24, que muestra un mapa mediante una imagen georreferenciada del estado de Morelos. En el mapa están indicadas las EAM instaladas en la red.





Figura 25.- Selección de un punto con coordenadas geográficas fuera del estado de Morelos.

Los resultados se despliegan del modo que ilustra la Figura 26. Los valores desplegados se calculan con una interpolación de las estaciones más cercanas, como se explicó anteriormente. Al señalar otro lugar de interés aparecerán sus valores de forma instantánea.

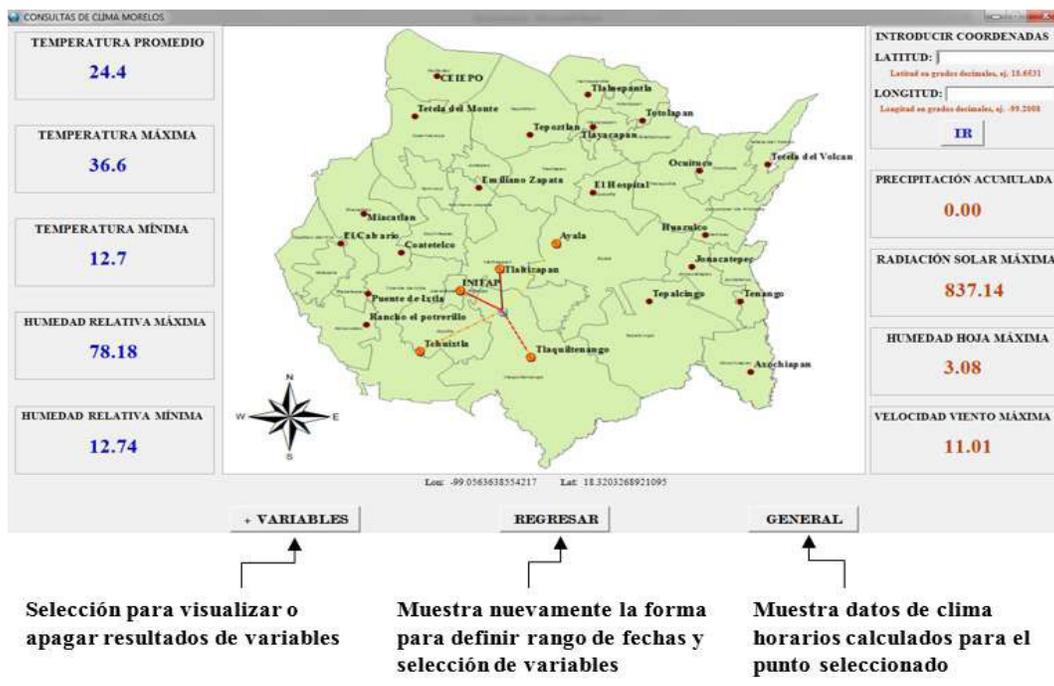


Figura 26.- Ventana donde se despliegan los resultados de la consulta de datos de las variables de clima.

En el mapa desplegado aparece el lugar seleccionado y las EAM que intervinieron en la interpolación que resultó en los valores mostrados. Los colores y el tipo de las líneas que unen al punto con estas EAMs se degradan a medida que se aleja la EAM del punto indicado. La línea amarilla es la correspondiente a la EAM más lejana de las que intervinieron en los cálculos. Observe que se muestran los datos de clima para las variables solicitadas (en este ejemplo, el usuario seleccionó “todas”).

Si se solicita la información detallada de las 10 variables climáticas que reportan las EAM (y no las calculadas por sistema que se muestran en el mapa) para el punto indicado, aparecen los datos como los que ilustra la Figura 27. Las pestañas se usan para ver los datos de la variable indicada en sus respectivas etiquetas. Si se desea aprovechar estos datos para otras aplicaciones, se pueden exportar a hojas de cálculo usando el botón “EXPORTAR A EXCEL”; esto crea, en un solo archivo, una hoja para cada una de las 10 variables.

CONSULTA GENERAL DE VARIABLES DE CLIMA

**PUNTO GEOGRÁFICO**  
 LONGITUD: 99.131821486747  
 LATITUD: 18.8232914831784

**PERIODO DE CONSULTA**  
 FECHA INICIAL: 14-01-01 - FECHA FINAL: 14-02-06

HORA FECHA	PRECIPITACIÓN			DIRECCIÓN VIENTO			VELOCIDAD VIENTO			VEL. VIENTO MÁX.			HUMEDAD EDIA			RADIACIÓN SOLAR			HUMEDAD RELATIVA			TEMPERATURA			TEMPERATURA MÁX.			TEMPERATURA MÍN.		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
01-01-14	16.51	16.55	16.42	14.65	14.52	13.00	13.11	11.90	12.73	17.56	21.42	24.53	26.32	27.56	28.58	29.20	29.76	28.96	25.28	20.26	18.96	18.06	15.06	16.51	15.11					
02-01-14	13.90	13.02	12.13	11.50	11.04	10.45	10.06	9.46	10.28	11.54	30.43	33.51	26.64	27.94	29.12	29.49	29.70	28.69	26.11	22.06	22.77	22.57	21.63	21.79						
03-01-14	20.64	18.92	18.41	17.76	16.10	13.20	14.29	13.03	12.92	12.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04-01-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05-01-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06-01-14	14.31	13.45	13.13	12.11	11.76	10.96	10.26	9.93	11.29	16.77	20.93	24.33	26.91	28.46	29.49	29.99	29.69	29.00	25.93	23.04	23.90	22.57	21.29	20.31						
07-01-14	19.63	16.97	16.45	17.67	16.26	13.70	13.24	13.26	14.51	16.27	20.43	22.11	23.27	24.07	25.15	25.67	25.29	24.96	22.66	18.64	17.09	13.30	16.13	13.27						
08-01-14	14.95	14.27	12.27	11.06	10.44	9.46	9.76	8.69	9.36	14.45	18.39	21.10	23.45	25.06	26.32	27.32	27.96	27.46	25.14	19.73	17.21	13.74	14.69	13.27						
09-01-14	12.24	11.61	11.11	10.60	9.66	9.06	8.55	8.22	9.22	14.53	18.91	22.61	25.77	27.73	29.16	29.99	30.46	30.52	26.57	21.46	19.31	17.51	16.66	16.63						
10-01-14	16.64	16.23	14.54	13.90	13.40	12.23	11.23	11.08	12.54	17.53	21.62	25.09	26.66	28.55	30.07	30.26	30.69	28.42	26.04	22.53	20.67	19.95	18.77	16.66						
11-01-14	16.14	15.46	14.09	13.24	12.58	12.28	11.76	11.19	12.63	11.20	21.24	24.27	26.23	28.22	29.75	31.04	31.25	30.73	27.56	23.21	21.65	22.67	21.91	21.70						
12-01-14	20.50	19.67	18.25	18.58	15.90	13.27	14.05	13.24	13.13	15.17	22.61	25.42	27.51	28.74	29.93	30.36	30.76	30.54	27.70	21.44	19.77	18.01	16.40	15.17						
13-01-14	13.63	13.96	13.12	12.26	11.68	11.66	10.90	10.29	11.69	17.26	21.34	24.86	27.22	29.05	30.74	31.30	31.42	30.99	28.14	22.95	20.97	19.12	17.90	17.23						
14-01-14	16.71	17.46	17.79	17.26	16.20	17.10	13.26	14.77	13.57	19.62	23.64	26.90	27.33	28.20	29.29	29.72	30.17	29.26	27.04	24.43	22.23	20.20	19.20	17.66						
15-01-14	16.63	13.96	13.22	14.94	13.67	13.29	13.20	13.68	14.94	16.27	22.46	24.26	26.78	27.26	28.72	28.67	28.96	29.79	24.90	22.63	21.21	19.26	18.13	16.93						
16-01-14	14.51	14.10	12.24	10.60	10.71	0.91	0.91	7.23	9.17	12.73	17.00	20.00	21.71	22.74	23.94	24.69	23.29	21.46	16.53	14.00	14.71	13.73	12.13							
17-01-14	11.73	11.13	10.41	9.65	8.97	8.46	8.06	7.86	9.61	14.11	17.89	21.29	24.24	26.37	27.62	28.67	29.29	27.97	24.26	19.26	18.02	16.03	16.92	15.26						
18-01-14	14.47	13.66	13.47	13.12	12.64	10.72	9.79	8.76	8.17	14.12	18.65	21.57	23.17	24.29	25.42	27.63	27.21	27.73	24.63	19.42	18.29	14.96	14.13	13.29						
19-01-14	11.67	10.66	10.21	9.46	8.57	8.24	7.88	7.41	8.35	13.22	17.20	21.20	24.74	26.95	28.22	29.70	29.63	28.22	26.26	20.22	18.21	16.16	14.95	14.24						

REGRESAR EXPORTAR A EXCEL

Figura 27.- Resultado detallado de la consulta a clima del punto de interés.

El botón REGRESAR le presenta nuevamente el mapa para que seleccione otro punto de interés. Seguirá activa la selección de las variables que indicó anteriormente. Sin embargo, se

ofrece vía un botón etiquetado como + *VARIABLES*, que permite modificar la selección que se hizo anteriormente agregando o quitando variables, como se muestra en la Figura 28.



Figura 28.- Administración para la visualización de variables calculadas.

### 3.3.2 Determinación de las coordenadas del punto seleccionado en el mapa

Comentario: el “mapa” que aparece en la forma no es producto de un SIG ni se usa un producto como GOOGLE en sus diversas ofertas. Se trata de una imagen que se coloca en la interfaz.

Se “calcula” el rectángulo formado por las tangentes horizontales y verticales del mapa. También se introducen las coordenadas geográficas de los extremos de este rectángulo. El programa conoce las ubicaciones (“left” y “top”) de los puntos extremos inferior, superior, izquierdo y derecho de esta imagen. También se le indican las coordenadas del rectángulo.

Cuando se selecciona un punto mediante un *click* del ratón, el sistema conoce la posición del cursor (es decir, su “left” y “top”). Se hacen los cálculos que determinan las coordenadas

geográficas del punto en función de su distancia a los lados izquierdo y superior del rectángulo (con una “regla de 3”).

Observación: el procedimiento que determina las coordenadas geográficas del punto seleccionado no es exacto, puesto que no toma en cuenta la circunstancia de que la tierra no es plana. Sin embargo, para áreas como la que nos ocupan, las diferencias serán mínimas, y de todos modos, cuando da click en un punto del mapa no puede tener una precisión tal que esta circunstancia afecte la utilidad de la información que se le proporcione.

### **3.3.3 Interpolación de los datos registrados por las EAM**

Cuando se señala un lugar (vía sus coordenadas geográficas) el sistema debe calcular las variables climatológicas a partir de las registradas en las EAM. De acuerdo a Peña (2006) “los usuarios, científicos y desarrolladores han buscado métodos de interpolación para estos cálculos. La interpolación debe tener en cuenta:

- a) La definición de puntos vecinos alrededor de los puntos a predecir.
- b) La búsqueda de puntos de datos dentro de los puntos vecinos.
- c) La elección de una función matemática para representar la variación sobre un número limitado de puntos
- d) La evaluación de los puntos sobre una malla regular.”

Sin embargo, en la aplicación específica para el sistema que se describe, sólo aplican las dos primeras actividades: determinar las estaciones más cercanas y la ponderación para determinar los valores en el punto indicado.

Se estudiaron algunos de los métodos de interpolación de uso generalizado, especialmente en Sistemas de Información Geográfica. En particular, goza de popularidad el método llamado Akima Interpolation Ueberhuber (1997), que consiste en construir un polinomio como función de interpolación.

Sin embargo, para las consultas ofrecidas, se decidió seguir la recomendación del Consejo Particular, consultado para tal efecto, y usar una combinación lineal de los valores de N estaciones más cercanas al punto de interés para obtener las estimaciones que se usarían para ese punto. Los coeficientes de esta combinación lineal estarán dados por las inversas del cuadrado de las distancias del punto de interés al de cada una de las estaciones que intervienen. Para que constituyan una combinación lineal, se normalizan los coeficientes de modo que la suma de los mismos sea uno.

En lugar de basar el estimado usando solamente las dos estaciones más cercanas, se decidió usar hasta cinco estaciones puesto que se asemejaba más a la situación considerada en la consulta. El valor 5 fue una decisión tomada para este tipo de situación, y no tiene ni algún precedente o recomendación en la literatura del Análisis Numérico. En cuanto al método de interpolación utilizado, fue el recomendado por el Director de esta tesis, mismo que no proporcionó ninguna referencia al respecto.

De ese modo, la interpolación se hace en tres pasos:

- I1.- Se determinan las estaciones más cercanas (máximo cinco).
- I2.- Se calculan los “pesos” que se asignarán a estas estaciones.
- I3.- Para cada variable de interés se calculan los valores como combinación de los valores de cada una de las EAM próximas, donde los coeficientes son los sendos pesos determinados en el paso anterior. Se describen a continuación estos pasos.

## **I1.- Determinación de las cinco estaciones más próximas al punto de interés**

La determinación de las estaciones más próximas al lugar de interés se hizo con la función trigonométrica llamada Haversine que permite calcular la distancia entre dos puntos en un sistema esférico, en este caso, al lugar de interés y de cada una de las EAM.

$$haversine\left(\frac{d}{R}\right) = haversine(\Delta\varphi) + \cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)haversine(\Delta\lambda)$$

y

$$\mathit{haversine}(\theta) = \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{1 - \cos(\theta)}{2}$$

Donde:

**d** es la distancia entre los dos puntos

**$\Delta\phi$**  es la diferencia de latitud

**$\phi_1$**  es la latitud del punto 1

**$\phi_2$**  es la latitud del punto 2

**$\Delta\lambda$**  es la diferencia de longitud

**$\theta$**  está dado en radianes.

Sean **R** el radio de la tierra medido en kilómetros = 6367.45 km y h es Haversine  $\left(\frac{d}{R}\right)$ . Entonces la distancia se puede calcular mediante la aplicación de Haversine inversa.

$$d = R \mathit{haversine}^{-1}(h) = 2 R \arcsin(\sqrt{h})$$

$$d = 2r \arcsin\left(\sqrt{\mathit{haversine}(\phi_2 - \phi_1) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \mathit{haversine}(\lambda_2 - \lambda_1)}\right)$$

Se calcula la distancia entre el punto seleccionado y cada una de las EAM. Se ordenan de forma ascendente las EAM con respecto a las distancias calculadas y se seleccionan las 5 estaciones más próximas al punto.

Esta fórmula es sólo una aproximación cuando se aplica a la Tierra, porque la Tierra no es una esfera perfecta: el radio de la Tierra R varía de 6,356.78 kilómetros en los polos hasta 6,378.14 kilómetros en el ecuador. Hay pequeñas correcciones, típicamente del orden de 0.1% (suponiendo la media geométrica R = 6.367,45 kilómetros que se utiliza en todas partes), a causa de esta ligera forma elíptica del planeta.

A continuación se reproduce el código de la rutina (codificada en Visual Basic.Net) que se usó para la determinación de las distancias requeridas usando la Fórmula de Haversine.

```
Public Sub CALCULA_DISTANCIAS_RADIANES()
```

```
'para cada EAM, calcula la distancia al "punto" seleccionado
```

```
Dim DIF_LAT As Double, DIF_LON As Double  
Dim a As Double, c As Double, PI_RAD As Double  
Dim TEMPO As Double  
ReDim distancias_ordenadas(Total_Estaciones)
```

```
iord = 1  
PI_RAD = Math.PI / 180
```

```
For iest = 1 To Total_Estaciones  
If iest = 14 Then  
distancia_a(iest) = 99999  
Else
```

```
'aplica la fórmula de Haversine
```

```
With LAS_ESTACIONES(iest)  
DIF_LAT = (.Lat - el_puntito.Lat) * PI_RAD  
DIF_LON = (.Lon - el_puntito.Lon) * PI_RAD
```

```
a = (Math.Sin(DIF_LAT / 2) ^ 2) + Math.Cos(.Lat * PI_RAD)  
* (Math.Cos(el_puntito.Lat * PI_RAD)) * (Math.Sin(DIF_LON / 2) ^ 2)  
c = Math.Asin(Math.Sqrt(a))  
distancia_a(iest) = 2 * RadioTierraKm * c
```

```
End With  
End If  
distancias_ordenadas(iest) = iest  
For jj = iest To 2 Step -1
```

```
If distancia_a(distancias_ordenadas(jj)) < distancia_a(distancias_ordenadas(jj - 1)) Then  
TEMPO = distancias_ordenadas(jj)  
distancias_ordenadas(jj) = distancias_ordenadas(jj - 1)  
distancias_ordenadas(jj - 1) = TEMPO
```

```
Else  
jj = 0  
End If  
Next ' es el jj  
Next ' es el iest
```

```
End Sub
```

## **I2.- Se calculan los “pesos” que se asignarán a estas estaciones**

Se interpolan los valores con una combinación lineal de los valores de las cinco EAM más cercanas, numeradas de acuerdo al orden ascendente de las distancias calculadas, de uno a cinco (representadas por las **i** en las fórmulas). En símbolos

$$\mathbf{ValorVar}(\text{en el punto}) = \sum_{i=1}^5 \mathbf{c}(i) * \mathbf{ValorVar}(e(i))$$

$$\mathbf{k}(i) = \frac{1}{d^2(i)} \quad \mathbf{c}(i) = \frac{\mathbf{k}}{\mathbf{D}} \quad \mathbf{D} = \sum_{i=1}^5 \mathbf{k}(i)$$

Es decir  $\mathbf{c}(i)$  es el coeficiente calculado con el método de interpolación del inverso del cuadrado de las distancias (normalizados para que la suma de los coeficientes sea uno) y  $e(i)$  es el número de la EAM. Observe que la interpolación es la misma para cualquier variable, es decir, se usa la misma combinación lineal de los valores de las EAM más cercanas.

Para fines técnicos se reproduce el código para el cálculo de los pesos que se asignan a las estaciones.

Sub calcula\_los\_coeficientes\_inversa\_distancia()

*' en este paso también se calcula la suma (sumita) de los coeficientes calculados*

*' que se usa para que la suma de los coeficientes "finales" sea 1*

Dim sumita As Double

ReDim los\_coeficientes(cuantas\_eam\_usa)

sumita = 0

If distan\_cuadrada Then

For jj = 1 To cuantas\_eam\_usa

If distancia\_a(distancias\_ordenadas(jj)) = 0 Then \_

distancia\_a(distancias\_ordenadas(jj)) = 0.0000001

los\_coeficientes(jj).coef = 1 / (distancia\_a(distancias\_ordenadas(jj)) ^ 2)

los\_coeficientes(jj).cual\_eam = distancias\_ordenadas(jj)

sumita = sumita + los\_coeficientes(jj).coef

PRENDE\_IMAGE\_ESTACION(los\_coeficientes(jj).cual\_eam)

PINTA\_LINEA(los\_coeficientes(jj).cual\_eam, el\_puntito\_pix.x, el\_puntito\_pix.y, jj)

Next jj

**Else** *' se incluye el cálculo de coeficientes si se usara la distancia, y no su cuadrado*

For jj = 1 To cuantas\_eam\_usa

If distancia\_a(distancias\_ordenadas(jj)) = 0 Then \_

distancia\_a(distancias\_ordenadas(jj)) = 0.0000001

los\_coeficientes(jj).coef = 1 / distancia\_a(distancias\_ordenadas(jj))

los\_coeficientes(jj).cual\_eam = distancias\_ordenadas(jj)

sumita = sumita + los\_coeficientes(jj).coef

PRENDE\_IMAGE\_ESTACION(los\_coeficientes(jj).cual\_eam)

```

        PINTA_LINEA(los_coeficientes(jj).cual_eam, el_puntito_pix.x, el_puntito_pix.y, jj)
    Next jj
End If
' ahora se dividen los coeficientes por "sumita" para que la suma de los coeficientes sea 1

    For jj = 1 To cuantas_eam_usa
        los_coeficientes(jj).coef = los_coeficientes(jj).coef / sumita
    Next jj

End Sub

```

Observe que el programa reproducido también tiene las rutinas para calcular los coeficientes basados en la inversa de las distancias (además de las que usan el cuadrado de estas distancias). En el código se ha resaltado el “else” que invoca este cálculo. Esto se hizo por si alguna aplicación optara por usar las distancias en lugar de sus cuadrados. Sin embargo, la consulta que se describe aquí sólo usa el método de los cuadrados de las distancias. A continuación se presenta el código de la función que realiza la interpolación de las variables de clima.

```
Function aplica_interpolacion(ByVal cual_var As Integer) As Double
```

```

' parámetro es el número de variable (de 1 a 19 según la numeración documentada)
' devuelve el valor "interpolado" de la variable indicada
' la interpolación para cualquier variable es la misma (mismos coeficientes)

```

```
    Dim temp As Double
```

```

    For jj = 1 To cuantas_eam_usa
        temp = temp + MEDICIONES_VAR(los_coeficientes(jj).cual_eam).MEDICIONES(cual_var) *
            los_coeficientes(jj).coef
    Next jj

```

```
    aplica_interpolacion = temp
```

```
End Function
```

La función “aplica\_interpolacion”, recibe como parámetro el número de la variable que se desea interpolar, una vez recibiendo dicho parámetro en forma interna, procesa los valores de la variable obtenidos por las EAM que influyen sobre el punto geográfico seleccionado, dando como resultado el valor de la variable estimada (interpolada).

### **3.4 Posibles usos de la información de clima**

Ya se ha mencionado que el presente trabajo contempla una red de EAM ubicada de forma estratégica en todo el estado de Morelos, pero el sistema está diseñado para ser implementado en cualquier lugar del mundo. Se lo puede aplicar a nivel parcelario, municipal, estatal (como en el presente trabajo) y nacional; sólo hay que cambiar ciertos datos, que no requieren cambios al sistema mismo. Entre estos cambios cabe mencionar:

- Se elabora el catálogo de las estaciones de la red;
- Se elabora un mapa del área de interés;
- Se indican las coordenadas “extremas” del área que se mostrará en los mapas.

Observación: en la versión actual, estas coordenadas se introducen directamente al programa correspondiente. Esta situación se modificará, y dichos parámetros (las coordenadas) se actualizarán en un archivo o tabla de una base de datos. En otras palabras, en este momento el cambio necesario en los programas está pendiente de desarrollo.

A pesar de que es útil tal cual, es decir, como consulta al clima, la información (especialmente la indicación del punto de interés) y la interpolación que hace el sistema se pueden aprovechar para otros usos. Un ejemplo concreto es el uso de los datos de clima para la determinación de riesgos de enfermedades fitosanitarias, asunto del siguiente capítulo de esta tesis.

## CAPITULO IV. CÁLCULO DE RIESGOS DE ENFERMEDADES

### 4.1 Introducción al cálculo de riesgos de enfermedades

En los hongos fitopatógenos se han estudiado ampliamente los efectos de la humedad relativa y la temperatura en el progreso de las enfermedades (Neufeld y Ojiambo, 2012, Maziero *et al.*, 2009, Guzmán-Plazola *et al.*, 2003, King *et al.*, 1997).

Como ejemplo del uso de la base de clima descrita, pero también como parte del objetivo de la investigación, se describe el uso de los datos climáticos en la evaluación de riesgos de enfermedades fitosanitarias. Como se verá, se agrega la automatización del cálculo de riesgos, que ahora también involucra considerables recursos humanos.

La práctica más usada para el manejo de la enfermedad es la aspersión calendarizada de fungicidas, *aunque* es posible usar modelos de riesgo basados en variables climáticas para optimizar la fecha de aplicación y reducir a un mínimo el número de aspersiones necesarias para el control de la enfermedad (Guzmán-Plazola, 1997).

La cita es textual, pero la coma y la palabra *aunque* (la cursiva es del autor de esta tesis) se deberían reemplazar por “; para lo cual”.

Cada enfermedad requiere de una condición favorable de humedad relativa y temperatura, durante un número de horas consecutivas. Por ejemplo *Cercospora zea-maydis* requiere 100% de humedad relativa, durante 36 horas consecutivas y temperatura de 25-30 °C (Paul y Munkvold, 2005).

### 4.2 Determinación de riesgos de enfermedades

El módulo de cálculo de riesgos en enfermedades fitosanitarias es un proceso que se ejecuta de forma automática en cualquier momento del día, donde el intervalo de ejecución lo especifica el administrador del sistema (cada hora, cada 12 horas, cada 24 horas, etc.). Lo ideal es que la

ejecución del cálculo se realice cada hora, ya que la base de datos almacena información de clima registrada por las EAM en horas puntuales. Como se verá, el sistema tiene un catálogo de enfermedades para las cuales calcula los riesgos.

El cálculo de riesgos de enfermedades se hace sobre las parcelas registradas en el sistema. Al igual que en la parte de la consulta de las variables de clima, el proceso de cálculo de riesgos estima la temperatura y la humedad relativa de dichas parcela, interpolando datos de las estaciones más cercanas y usando el método del inverso del cuadrado de las distancias.

Como se mencionó previamente, las condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades fitosanitarias se especifican mediante un rango de temperatura y humedad relativa, con un número de horas consecutivas en las cuales deben subsistir dichas condiciones.

El módulo para el cálculo de enfermedades fitosanitarias utiliza este principio, calculando los posibles riesgos en los cultivos establecidos en las parcelas de los productores registrados. Los datos para realizar el cálculo de riesgos se toman del catálogo de enfermedades.

Para analizar las condiciones climatológicas de un día, el sistema comienza analizando los datos registrados en el día anterior, esto es debido a que las condiciones de temperatura y humedad relativa se pueden presentar en las últimas horas del día previo al análisis, completando el número de horas necesarias en las primeras horas del día de análisis.

El comportamiento del desarrollo de enfermedades soporta que entre las horas con condiciones haya una hora en la cual no se presenten dichos requerimientos. Es decir, si una enfermedad necesita seis horas consecutivas o más y hay un día donde se presentan tres horas consecutivas con las condiciones, después la siguiente hora no cumple los requerimientos y las próximas tres horas se vuelven a presentar, la probabilidad para el desarrollo de la enfermedad es muy alta de modo que el sistema indicará que existe riesgo para el desarrollo de la enfermedad.

El sistema también contempla la situación cuando el día de análisis es el primer día del mes. Se analiza el último día del mes anterior. Finalmente, para el primero de enero se procede de modo similar, tomando los datos climáticos de las últimas horas del 31 de diciembre del año anterior.

La tabla enfermedad\_anio\_mes almacena los riesgos calculados en una cadena de caracteres, donde cada carácter representa un día del mes de análisis. Se hace esto para cada una de las parcelas registradas y cada una de las enfermedades asociadas al cultivo establecido, donde los campos que conforman dicho registro son la enfermedad, el año, el mes, el número del último día de dicho mes y el campo de riesgos.

En el primer cálculo realizado en el mes, se crea un registro con una cadena de 31 caracteres con el valor “9” (indica que no se ha realizado el cálculo de riesgos), para posteriormente remplazarlo con el carácter “0” (indica que no hay riesgo para ese día) o el carácter “1” (indica que hay riesgo en ese día) respectivamente. En la siguiente sección se describe la tabla enfermedades\_anio\_mes.

El cálculo de riesgos de enfermedades fitosanitarias se hace por cada parcela registrada en el sistema, donde cada registro de la tabla enfermedad\_anio\_mes representa el riesgo de una enfermedad de todo el mes en una parcela. Para la determinación de riesgos se estima la temperatura y humedad relativa presentadas en la parcela (una vez más, interpolando las variables con los de las EAM más cercanas). Los datos se estiman para un día anterior y al día actual (hora hasta el momento del cálculo). Para la interpolación se usan las coordenadas de la parcela que se obtienen de la tabla “parcela”, descrita en un apartado más adelante.

Cuando se registra una parcela se determinan las estaciones más cercanas y se calculan los pesos de influencia de cada estación sobre la parcela; estos cálculos se hacen utilizando las coordenadas geográficas de la parcela (latitud y longitud). Observe que se almacenan en la base los coeficientes para la interpolación, lo que hace innecesario calcular (los coeficientes) cada vez que se necesitan.

#### 4.2.1 Tabla enfermedad\_anio\_mes

En esta tabla se almacena el cálculo de los riesgos de las enfermedades ocurrido en todo un mes, la tabla contiene un índice compuesto los campos ENFERMEDAD, ANIO, MES, PRODUCTOR y PARCELA, en la Tabla 8 se describen los campos.

Tabla 8.- Tabla enfermedad\_anio\_mes.

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>
ENFERMEDAD	Número de la enfermedad en el sistema	Entero
ANIO	Año en donde se calcula el riesgo de la enfermedad	Entero
MES	Número del mes en donde se calcula el riesgo de la enfermedad	Entero
PRODUCTOR	Número del productor en el sistema	Entero
PARCELA	Número de la parcela en el sistema	Entero
ULT_DIA_MES	Número del último día del mes en el que se calcula el riesgo	Entero
RIESGO	Cadena de 31 caracteres que indica la presencia o ausencia de riesgos en el mes de análisis	Texto

*ENFERMEDAD*: campo llave, representa un número único identificador para la enfermedad.

*ANIO*: Almacena el año en el que se realizó el cálculo del riesgo de la enfermedad.

*MES*: Almacena el mes en el que se calculó el riesgo de la enfermedad.

*ULT\_DIA\_MES*: Almacena el número del último día del mes en el que se calculó el riesgo.

*RIESGO*: Almacena una cadena de 31 caracteres, donde cada carácter representa el riesgo ocurrido en ese día y la posición del carácter equivale al número del día del mes, 0 = sin riesgo, 1 = riesgo, 9 = riesgo no calculado.

#### 4.2.2 Tabla: catálogo\_enfermedades

La determinación de riesgos de enfermedades usa el catálogo de enfermedades, en el que están las condiciones climáticas necesarias para el desarrollo de cada una de las enfermedades.

La tabla catalogo\_enfermedades contiene información de las enfermedades fitosanitarias de los cultivos. En la Tabla 9 se muestra la estructura de la tabla. Los campos que no se explican por su nombre están descritos debajo de la tabla.

Tabla 9.- Tabla catalogo\_enfermedades.

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>
<u>ENFERMEDAD</u>	Número identificador de la enfermedad en el sistema	Entero
NOMBRE_COMÚN	Nombre común de la enfermedad	Texto
NOMBRE_CIENTÍFICO	Nombre científico de la enfermedad	Texto
TEMP_MIN	Temperatura mínima requerida para el desarrollo de la enfermedad	Entero
TEMP_MAX	Temperatura máxima requerida para el desarrollo de la enfermedad	Entero
HUMEDAD_MIN	Humedad relativa mínima requerida para el desarrollo de la enfermedad	Entero
HUMEDAD_MAX	Humedad relativa máxima requerida para el desarrollo de la enfermedad	Entero
NUM_HORAS_CONSECUTIVAS	Horas consecutivas para el desarrollo de la enfermedad	Entero

*ENFERMEDAD*: Campo llave, representa un número único identificador para la enfermedad.

*NOMBRE\_COMUN*: Almacena el nombre común de la enfermedad.

*NOMBRE\_CIENTÍFICO*: Almacena el nombre científico de la enfermedad.

*TEMP\_MIN*: Almacena el rango inferior de temperatura, “valor observado multiplicado por 10”.

*TEMP\_MAX*: Almacena el rango superior de temperatura, “valor observado multiplicado por 10”.

*HUMEDAD\_MIN*: Almacena el rango inferior del porcentaje de humedad relativa necesaria para que se desarrolle la enfermedad.

*HUMEDAD\_MAX*: Almacena el rango superior del porcentaje de humedad relativa necesaria para que se desarrolle la enfermedad.

*NUM\_HORAS\_CONSECUTIVAS*: Almacena el número de horas consecutivas necesarias para que se desarrolle la enfermedad.

#### **4.2.3 Administración del catalogo\_enfermedades**

La interfaz principal para la administración del catálogo de enfermedades muestra una lista de todos los registros de dicho catálogo. Además ofrece un “menú” donde se pueden seleccionar las operaciones: agregar, eliminar y modificar un registro, además de dos botones con forma de

flechas, que permiten desplazarse entre los registros (sin tener que usar el ratón), como se puede observar en la Figura 29.

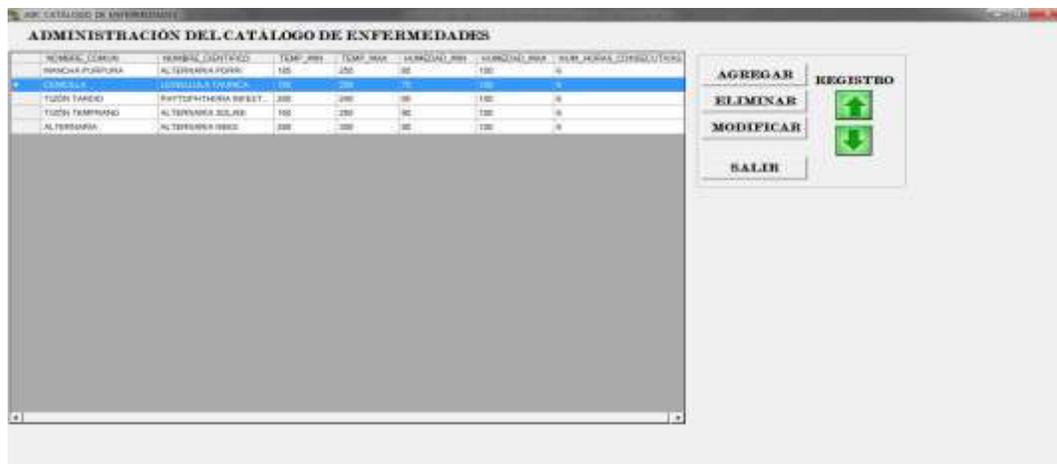


Figura 29.- Interfaz principal para la administración del catálogo de enfermedades fitosanitarias.

### *Agregar un registro en catalogo\_enfermedades*

La función agregar un nuevo registro de enfermedad fitosanitaria despliega una ventana que permite capturar todos los parámetros necesarios de una enfermedad. El campo llave del catálogo (*ENFERMEDAD*), es un número arbitrario que asigna el sistema agregando uno al número consecutivo del último registro de la tabla, como se puede observar en la Figura 30. Para dar de alta un nuevo registro es necesario capturar todos los campos.

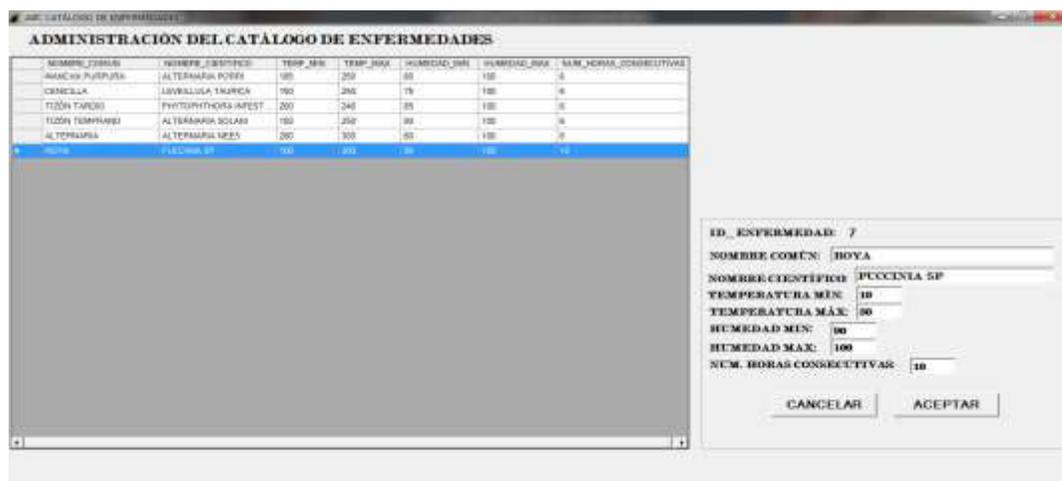


Figura 30.- Interfaz para registrar una nueva enfermedad.

El nombre científico de una enfermedad fitosanitaria, así como la notación científica, es un protocolo establecido para identificar algo de modo único (común a todos los países). Naturalmente el catálogo de enfermedades fitosanitarias no permite incluir dos enfermedades con el mismo nombre científico: cuando el administrador de dicho catálogo por error intenta capturar la misma enfermedad u otra enfermedad con el mismo nombre científico, se despliega el mensaje “IMPOSIBLE INSERTAR EL REGISTRO, EXISTE UNA ENFERMEDAD CON EL MISMO NOMBRE CIENTIFICO”.

### *Modificar registro de enfermedad fitosanitaria*

Para modificar los parámetros de un registro del catálogo de enfermedades fitosanitarias, se selecciona el registro deseado. Se invoca la opción para modificar ese registro, y aparece una ventana con los parámetros del registro, que se pueden cambiar, como se muestra en la Figura 31.

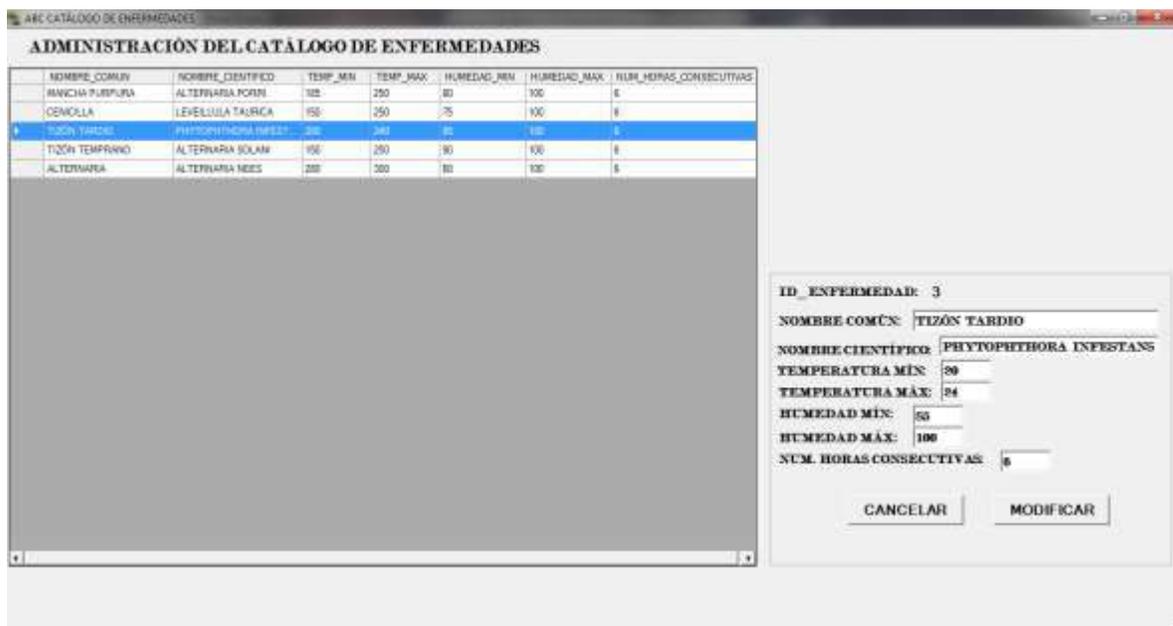


Figura 31.- Modificación de los parámetros de un registro del catálogo de enfermedades.

De la misma manera que la opción de agregar un registro nuevo, la función de modificar no permite insertar en la base de datos una enfermedad con un nombre científico existente, o dejando parámetros sin capturar.

#### *Eliminar un registro de enfermedad fitosanitaria*

La función para eliminar un registro del catálogo de enfermedades fitosanitarias permite al administrador del sistema eliminar de forma permanente del sistema un registro. Para ello se selecciona el registro de interés. La operación de eliminar despliega una ventana solicitando la confirmación de la operación. Como el catálogo de enfermedades está relacionado con la ENFERMEDAD\_CULTIVO, donde una enfermedad se relaciona con uno o más cultivos, para eliminar una enfermedad, primero se tienen que eliminar todas las relaciones existentes entre la enfermedad y los cultivos.

### **4.3 Definición y administración del modelo de datos**

Se diseñó la base de datos “RIESGO\_ENFERMEDADES”, que contiene las siguientes nueve tablas que se describen sucesivamente en las siguientes secciones.

Catalogo\_enfermedades

Cultivo

Productor

Parcela

Enfermedad\_cultivo

Enfermedades\_anio\_mes

Nuevos\_riesgos\_ef

Riesgos\_no\_informados

Avisos\_generados

Los apartados anteriores describen las tablas enfermedades\_anio\_mes y el catalogo\_enfermedades, a continuación se describen las restantes siete tablas de la base de datos.

### 4.3.1 Tabla cultivo

La tabla cultivo resulta ser un catálogo de cultivos administrados por el sistema, del cual se conocen y se cuenta con la información necesaria de los parámetros requeridos para el desarrollo de las enfermedades a las cuales son susceptibles, como se describirá en un apartado especial más adelante. La estructura de la tabla es la que refleja la Tabla 10. Los campos se detallan debajo de la tabla.

Tabla 10.- Tabla cultivo.

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>
CULTIVO	Número del cultivo en el sistema	Entero
NOMBRE_CULTIVO	Nombre común del cultivo	Texto
NOMBRE_CIENTIFICO	Numero científico del cultivo	Texto

*CULTIVO*: Es el número asignado al cultivo según la numeración usada en este trabajo (Número para identificar al cultivo en el sistema). Es el campo llave de la tabla.

*NOMBRE\_CULTIVO*: Almacena el nombre común con el que es identificado el cultivo.

*NOMBRE\_CIENTÍFICO*: Almacena el nombre científico con el que es identificado el cultivo en el mundo.

### 4.3.2 Administración del catálogo de cultivos

La administración del catálogo de cultivos muestra una lista de todos los cultivos registrados en la base de datos. Se pueden agregar, eliminar y modificar los registros de los cultivos. En la Figura 32 se muestra la pantalla principal de la administración de cultivos.



Figura 32.- Forma principal para la administración de cultivos.

La selección del registro de cultivo se puede hacer de las dos maneras descritas para aplicaciones similares. La tabla cultivos tiene como campo llave el campo “cultivo” que es un campo numérico generado por el sistema, asignado en forma consecutiva. La opción agregar despliega una forma como la que muestra la Figura 33.

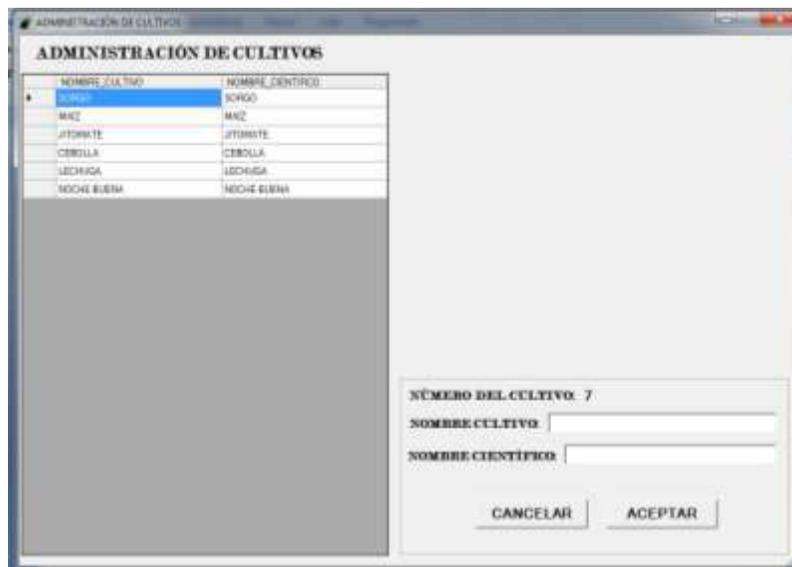


Figura 33.- Agregar un nuevo registro de cultivo.

Los campos que ofrece son obligatorios. Cuando se omite cualquiera de los campos, se muestra una ventana con la leyenda "OBLIGATORIO LLENAR TODOS LOS CAMPOS".

Para Eliminar un registro de cultivo se invoca la función y con una forma como la que ilustra la Figura 34 se confirma la operación.

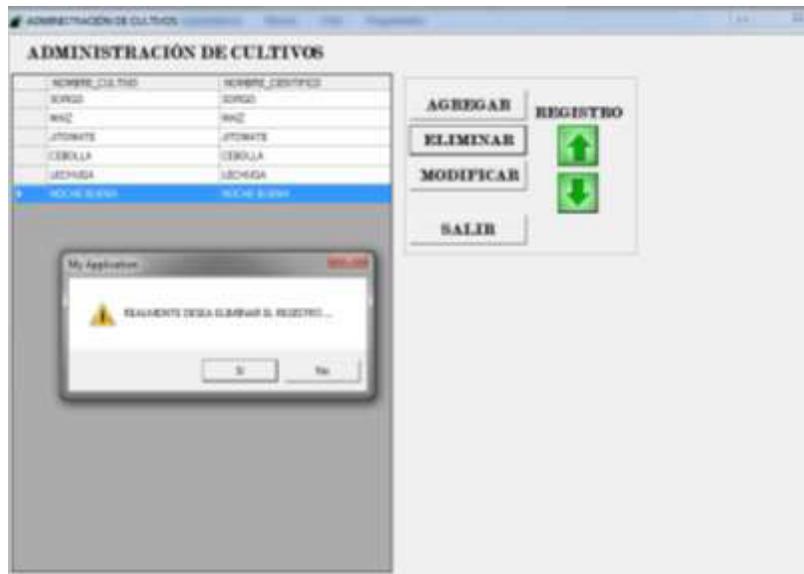


Figura 34.- Confirmación para eliminar un registro de cultivo.

La tabla cultivo se encuentra relacionada con otras tablas, principalmente con la tabla enfermedad\_cultivo. Como estrategia de programación y para conservar la consistencia de información en la base de datos, no se puede eliminar un registro de cultivo si hay una enfermedad relacionada con el cultivo. Si se elige un cultivo para eliminar y hay una tal relación, el sistema muestra una ventana que indica "IMPOSIBLE ELIMINAR EL REGISTRO SELECCIONADO, EXISTE UNA ENFERMEDAD RELACIONADA CON EL CULTIVO. PARA ELIMINAR ESTE REGISTRO, PRIMERO DEBE ELIMINAR DICHA RELACIÓN...".

Si se usa la opción "MODIFICAR" se pueden cambiar los campos nombre y nombre científico. Primero es necesario seleccionar el registro en cuestión y el sistema despliega una ventana con los datos del cultivo para ser modificados de ser necesario. El proceso puede ser observado en la Figura 35. Al igual que el proceso para agregar un nuevo registro de cultivo, el proceso de modificación no permite dejar los campos vacíos.

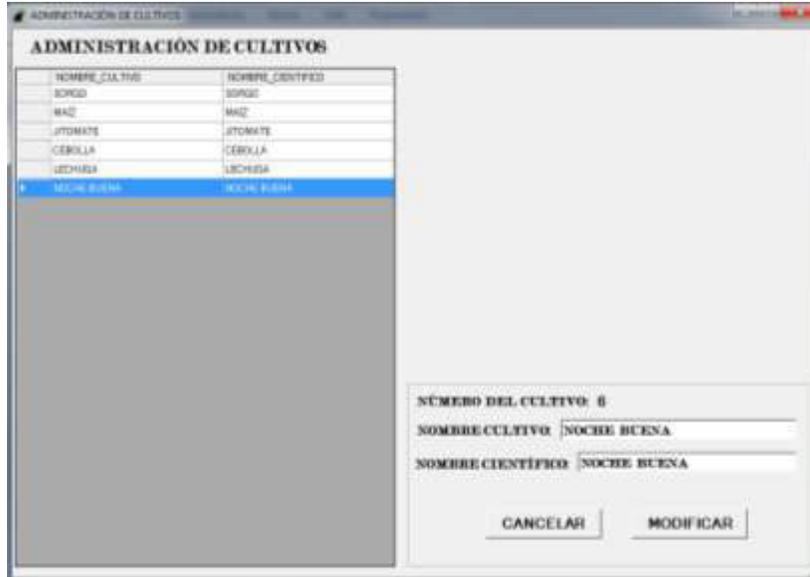


Figura 35.- Modificación de los datos de un cultivo.

### 4.3.3 Tabla productor

La tabla productor es un catálogo que almacena los datos personales de personas productoras del campo, o personas interesadas en recibir alertas sobre riesgos de enfermedades fitosanitarias, que se presenten en sus cultivos. En la Tabla 11 se muestran los campos que componen dicha tabla. Los campos que no se explican por su nombre están descritos debajo de la tabla.

Tabla 11.- Tabla productor.

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Comentario</b>
PRODUCTOR	Número del productor en el sistema	Entero	
NOMBRE_PRODUCTOR	Nombre del productor	Texto	
DIRECCION	Dirección del domicilio particular	Texto	
TELEFONO_FIJO	Número de teléfono de casa	Texto	Texto máximo de 10 Caracteres
E_MAIL	Dirección de correo electrónico	Texto	
CELULAR	Número de teléfono celular	Texto	Texto máximo de 10 Caracteres
RFC	Registro Federal del contribuyente	Texto	Texto máximo de 13 Caracteres
MODO_ENVIO	Como quiere recibir las alertas mensaje SMS y / o correo electrónico	Texto	
CUANDO QUIERE AVISOS	Existen 3 opciones para recibir las alertas, siempre, semanal o nunca	Texto	
DIA_PARA_AVISAR	Para el caso de alertas semanales debe indicar el número del día de la semana que le interesa recibir los avisos	Entero	0 = nunca requiere las alertas, 1 al 7 = número de día de la semana, 8 = siempre quiere recibir las alertas
CLAVE	Contraseña del usuario	Texto	

**PRODUCTOR:** Es el número asignado al productor según la numeración usada en este trabajo (Número para identificar al productor en el sistema). Es la clave principal de esta tabla.

**MODO\_ENVIO:** El usuario puede decidir entre tres opciones para recibir las alertas: nunca, siempre o de forma semanal.

**DIA\_PARA\_AVISAR:** En el caso de que el usuario elija recibir (**MODO\_ENVIO**) las alertas semanales, debe indicar qué día de la semana necesita recibir las notificaciones. El campo (numérico) contiene los valores: 0 -- indica que nunca requiere las alertas; 1 al 7 indican el número de día de la semana para las notificaciones, mientras que un valor 8 indica que siempre quiere recibir las alertas.

**CLAVE:** Es la contraseña especificada por el usuario para cuestiones de administración de la cuenta generada.

#### 4.3.4 Administración del catálogo de productores

La necesidad que dio lugar al sistema de alerta oportuna de riesgos en enfermedades fitosanitarias surge del hecho que los productores no cuentan con una herramienta que ayude a prevenir o combatir de manera oportuna las enfermedades presentadas en sus cultivos.

El módulo de cálculo de riesgos en enfermedades fitosanitarias utiliza un catálogo con la información de productores interesados en recibir alertas en tiempo real de lo que sucede en sus parcelas con sus cultivos, en cuanto a los riesgos para el desarrollo de enfermedades.

Para la administración del catálogo de productores, se diseñó un módulo que permite hacer las operaciones de registro de nuevos productores, la modificación de la información de los productores registrados y la depuración de productores que ya no requieren hacer uso del sistema.

La interfaz principal para la administración del catálogo de productores muestra una tabla que lista todos los registros de productores existentes en la base datos, además del menú principal que permite hacer la administración total de dicha tabla, como se muestra en la Figura 36.

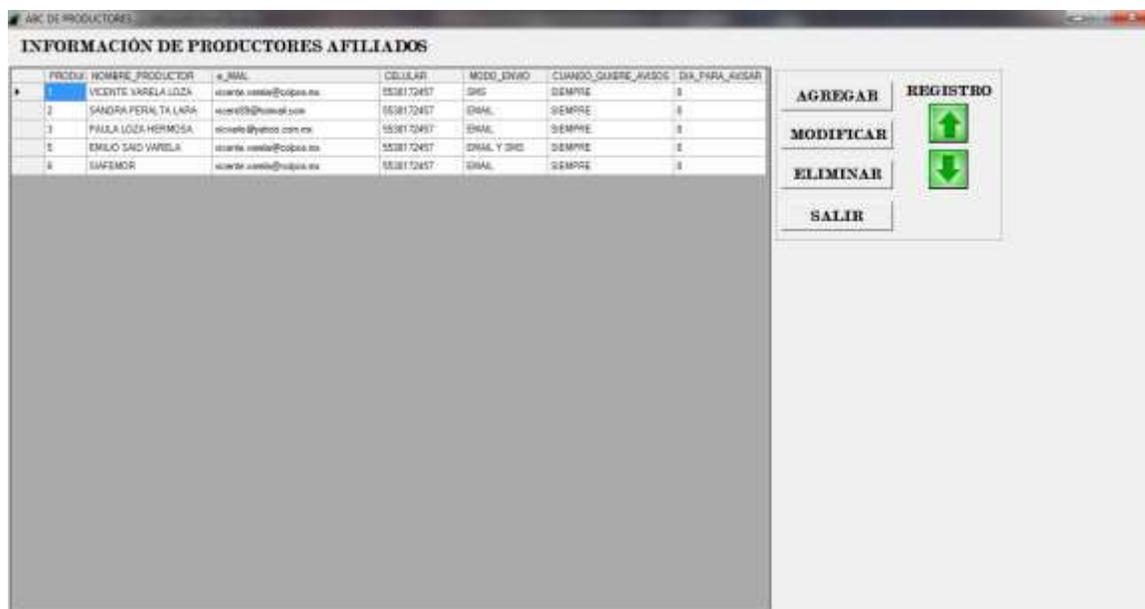


Figura 36.- Forma principal para la administración del catálogo de productores.

### *Agregar productores*

La función agregar permite capturar nuevos registros de productores en el sistema: despliega un conjunto de campos en blanco los cuales permiten capturar los datos necesarios para el sistema como se observa en la Figura 37.

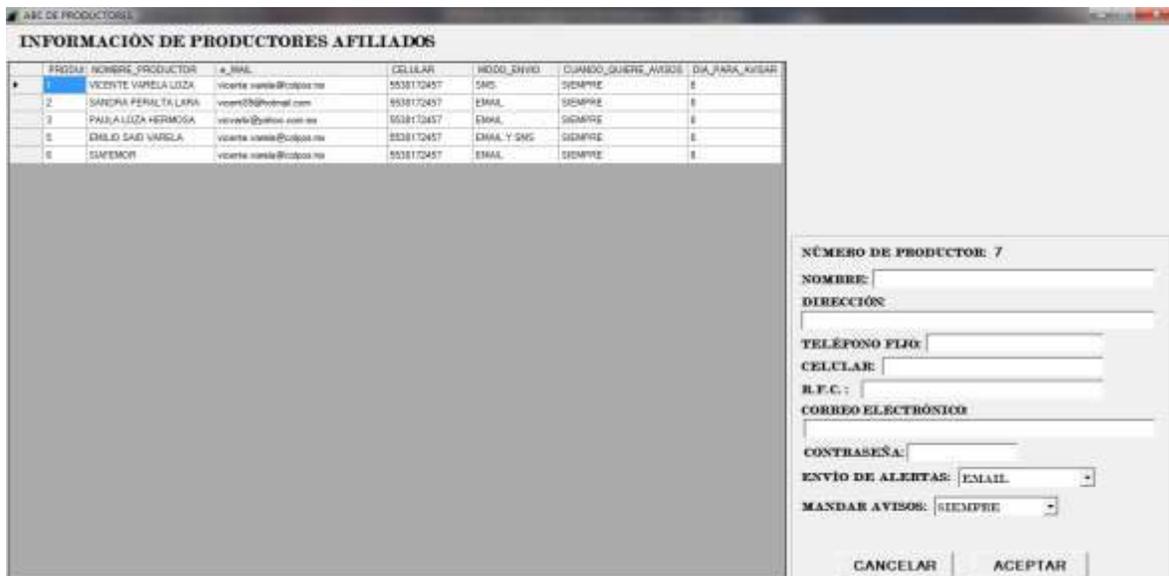


Figura 37.- Agregar nuevos productores.

El campo clave de la tabla de productores es el número del usuario, asignado de forma automática por el sistema y resulta del número consecutivo al último registro existente.

### *Modificar registro del productor*

Para realizar la función de modificar es necesario primero seleccionar uno de los registros mostrados en la tabla. La función modificar muestra los campos del registro permitiendo modificar cualquiera de ellos, la Figura 38 muestra dicha función.

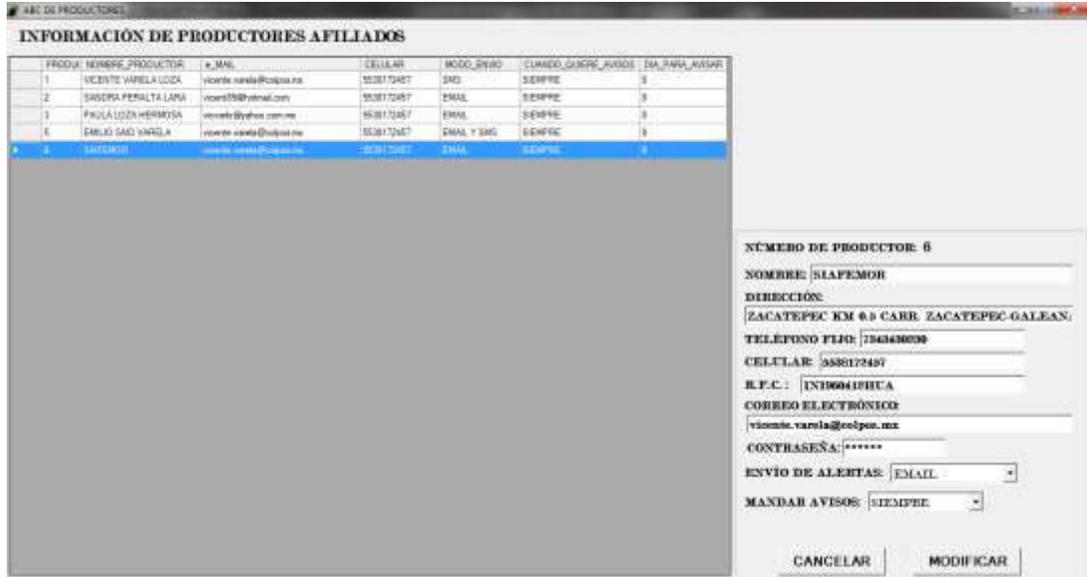


Figura 38.- Modificar registro de productor.

### *Eliminar registro del productor*

La función eliminar permite borrar el registro de forma permanente: se presenta una ventana que solicita confirmar la operación, como se muestra a continuación en la Figura 39. De forma automática se eliminan las alertas existentes para el productor.

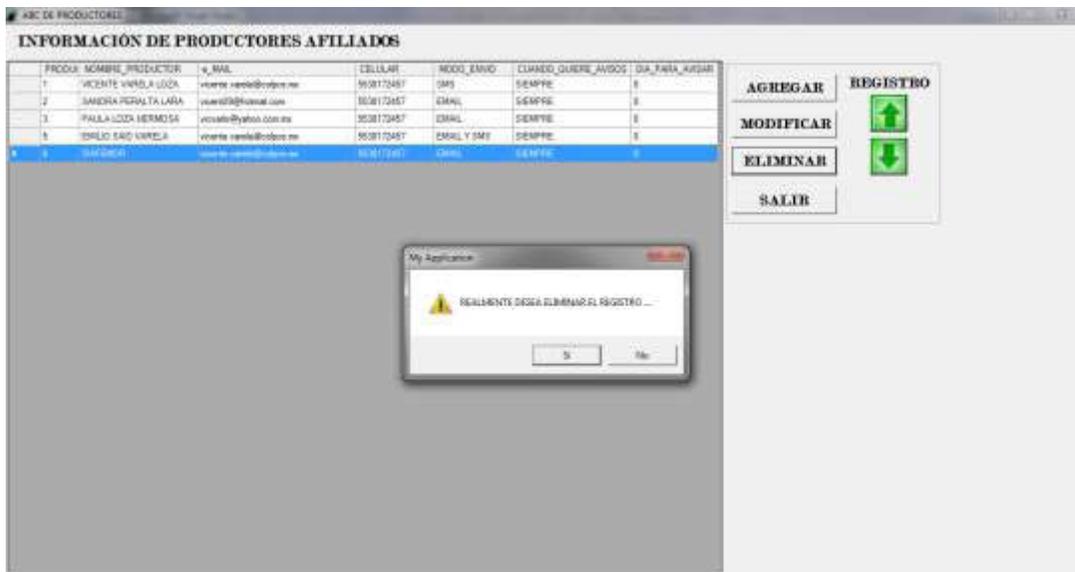


Figura 39.- Confirmación para la eliminación de un registro del productor.

La tabla de productores se encuentra relacionada con la tabla de parcelas. Por lo tanto el registro de un productor no se puede eliminar si dicho productor tiene registrada alguna parcela. Cuando se indica que se elimine un registro del productor que tiene registrada alguna parcela, aparece el mensaje "IMPOSIBLE ELIMINAR EL REGISTRO SELECCIONADO, EXISTEN PARCELAS RELACIONADAS CON ESTE PRODUCTOR... PARA ELIMINAR ESTE REGISTRO, PRIMERO DEBE ELIMINAR DICHA RELACIÓN".

#### 4.3.5 Tabla parcela

La tabla parcela es un catálogo de parcelas registradas y asociadas a los productores usuarios del sistema. En la Tabla 12 se muestran los campos que componen dicha relación. Los campos que no se explican por su nombre están descritos debajo de la tabla.

Tabla 12.- Tabla parcela.

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>
PARCELA	Número de la parcela en el sistema	Entero
NOMBRE_PARCELA	Nombre que identifica físicamente a la parcela	Texto
PRODUCTOR	Número del productor en el sistema	Entero
UBICACIÓN_DIRECCION	Dirección del domicilio donde se encuentra la parcela	Texto
LATITUD	Coordenada geográfica	Doble
LONGITUD	Coordenada geográfica	Doble
CULTIVO	Número que identifica el cultivo establecido en la parcela	Entero
AREA_CULTIVO	Área del cultivo sobre la parcela	Doble
CUANTAS_EST_USA	Número de estaciones agrometeorológicas cercanas a las parcelas	Entero sin signo
ESTACION_1	Número de la estación en la red y el sistema	Entero
ESTACION_2	Número de la estación en la red y el sistema	Entero
ESTACION_3	Número de la estación en la red y el sistema	Entero
ESTACION_4	Número de la estación en la red y el sistema	Entero
ESTACION_5	Número de la estación en la red y el sistema	Entero
COEFICIENTE_1	Valor de influencia para la interpolación	Flotante
COEFICIENTE_2	Valor de influencia para la interpolación	Flotante
COEFICIENTE_3	Valor de influencia para la interpolación	Flotante
COEFICIENTE_4	Valor de influencia para la interpolación	Flotante
COEFICIENTE_5	Valor de influencia para la interpolación	Flotante

La tabla contiene una llave compuesta por los campos PRODUCTOR, LATITUD y LONGITUD, a continuación se describe cada uno de los campos.

*PARCELA*: Es el número asignado a la parcela según la numeración usada en este trabajo (Número para identificar a la parcela en el sistema).

*CUANTAS\_EST\_USA*: Es el número de estaciones de la red que se usan para la interpolación de los valores climáticos en la parcela.

*ESTACION\_1*: Es el número asignado en la red de estaciones y el sistema, para la primera estación más cercana a la parcela, la cual registra información de clima que influye en el área de la parcela en mención.

*ESTACION\_2, ESTACION\_3, ..., ESTACION\_5*: Almacena el número de la segunda, tercera, cuarta y quinta estación más cercanas a la parcela. Si no se usaran las 5, se indica con el número 0 que no se usan más que las anteriores para interpolar.

*COEFICIENTE\_1*: Almacena el valor de influencia (peso) que ejercen los valores registrados por la primera estación para realizar la interpolación. Es el coeficiente de la combinación lineal que se usa para la interpolación.

*COEFICIENTE\_2, COEFICIENTE\_3, ..., COEFICIENTE\_5*: Son los equivalentes a lo descrito para el campo COEFICIENTE\_1 pero para las siguientes EAMs que intervienen en la interpolación.

#### **4.3.6 Administración de parcelas**

La tabla PARCELA es un catálogo que almacena la información de una parcela. La interfaz principal para la administración de este módulo muestra una tabla que contiene todas las parcelas registradas por los productores, como se visualiza en la Figura 40.

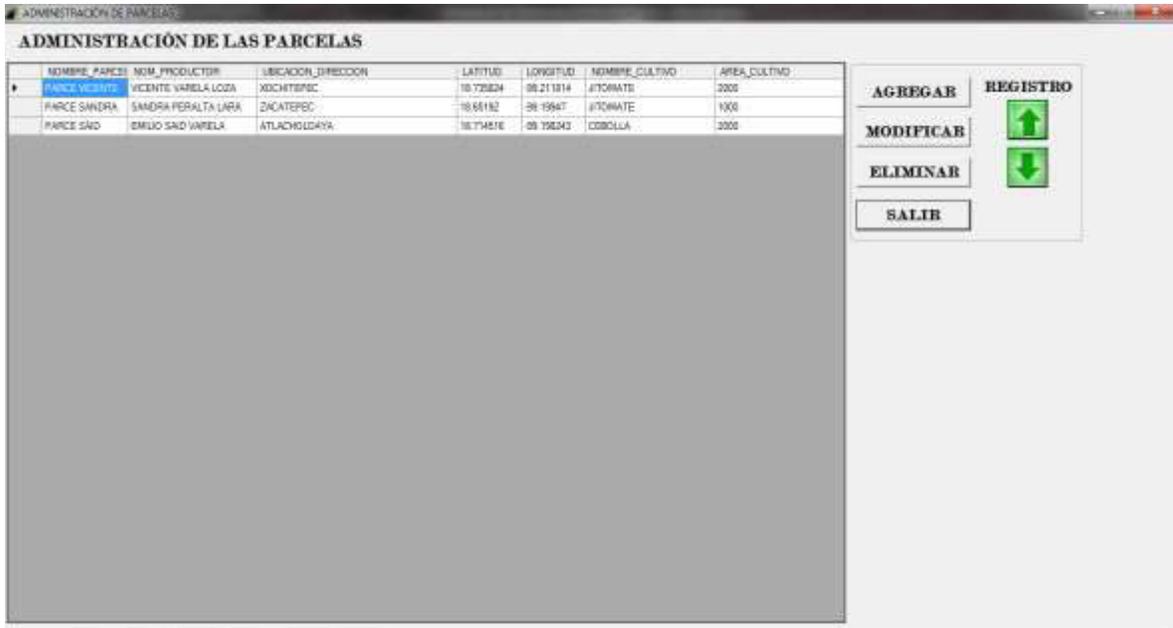


Figura 40.- Forma principal para la administración de parcelas.

El módulo de administración del catálogo de parcelas consta esencialmente de tres funciones agregar, modificar y eliminar el registro de una parcela.

#### *Agregar un registro de una parcela*

La función agregar nuevos registros de parcelas, muestra una ventana que permite capturar todos los parámetros necesarios para su administración. La ventana ofrece una lista con los nombres de todos los productores registrados. Para registrar una nueva parcela el dueño de dicha parcela se tuvo que haber registrado. Se proporcionan además: un nombre propio para la parcela, que funciona como identificador para el productor; la ubicación (dirección de la parcela); la latitud y longitud, área de la parcela y el cultivo establecido en ella, como se puede observar en la Figura 41.

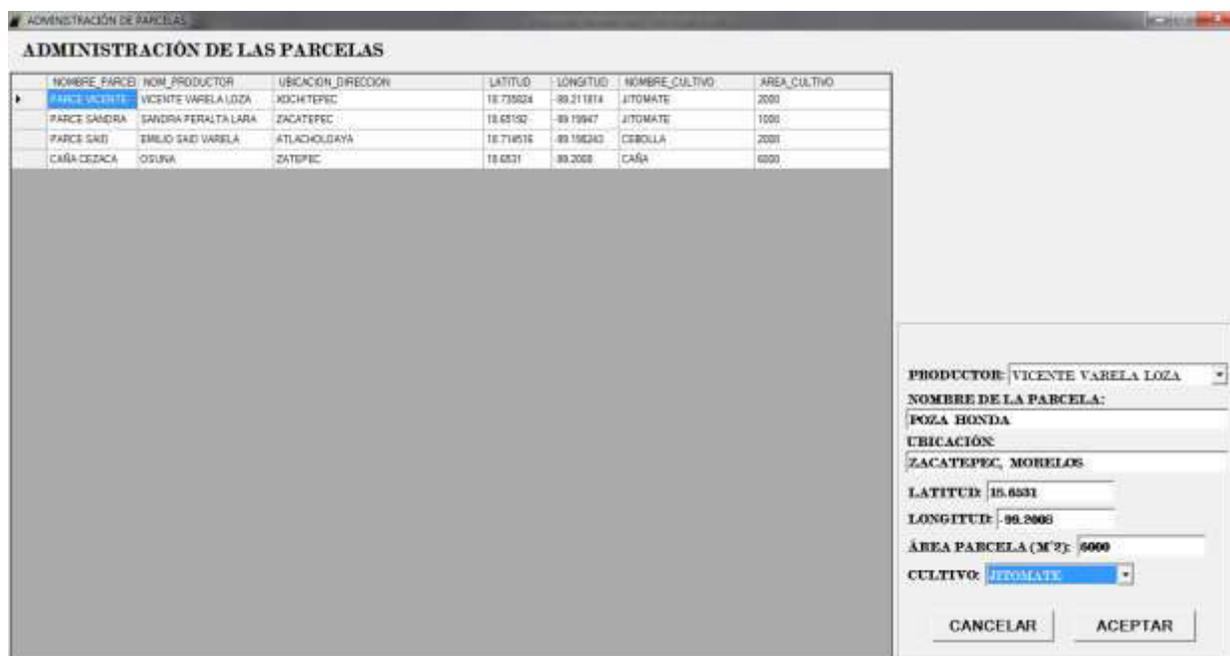


Figura 41.- Agregar nuevo registro de parcela.

Un productor no puede registrar dos o más parcelas con las mismas coordenadas geográficas; cuando un productor desea registrar una parcela con las mismas coordenadas geográficas de una parcela registrada a su nombre el sistema muestra el mensaje “LA PARCELA YA SE ENCUENTRA REGISTRADA CON EL PRODUCTOR SELECCIONADO”.

#### *Modificar registro de una parcela*

La opción de modificar el registro de una parcela, permite realizar el cambio de datos necesarios. La función modificar un registro despliega una ventana con los parámetros que componen a dicho registro, los cuales pueden ser cambiados a criterio del usuario, como se puede observar en la Figura 42.



Figura 42.- Modificación del registro de una parcela.

De la misma manera que la función de registrar una nueva parcela, la opción de modificar no permite que un productor registre dos parcelas con las mismas coordenadas geográficas.

### *Eliminar registro de una parcela*

La función para eliminar el registro de una parcela permite borrar de forma permanente el registro de una parcela del sistema. Para realizar la eliminación el usuario primero debe seleccionar el registro de interés. Antes de eliminar un registro se despliega una ventana que solicita la confirmación de la operación, como se puede observar en la Figura 43.

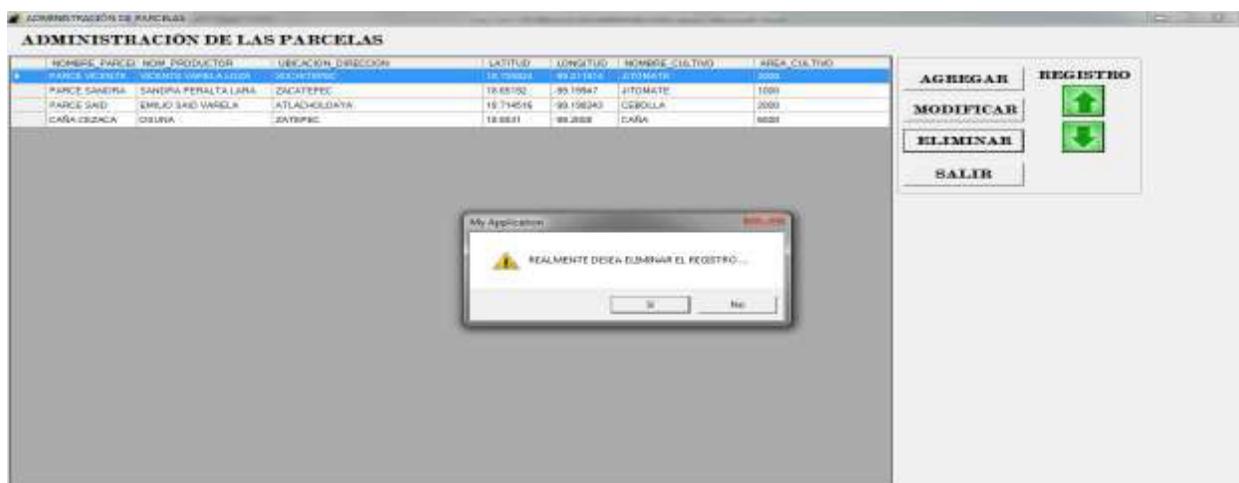


Figura 43.- Confirmación para eliminar el registro de una parcela.

### 4.3.7 Tabla enfermedad\_cultivo

La tabla enfermedad\_cultivo es la relación entre las enfermedades fitosanitarias a las que son susceptibles los cultivos. La estructura de la relación se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13.- Tabla enfermedad\_cultivo.

Campo	Descripción	Tipo de dato
ENFERMEDAD	Número de la enfermedad en el sistema	Entero
CULTIVO	Número del cultivo en el sistema	Entero

### 4.3.8 Administración de la relación entre enfermedades y cultivos

Las enfermedades y los cultivos mantienen una relación muy estrecha; cada cultivo es susceptible a ciertas enfermedades; la relación entre cultivos y enfermedades es administrada por el usuario en el catálogo “ENFERMEDAD\_CULTIVO”, el cual guarda un registro por cada enfermedad asociada al cultivo.

La interfaz principal para la administración de la relación entre enfermedad y cultivo, muestra una tabla que contiene todos los registros contenidos en la base de datos, como se ilustra en la Figura 44.



Figura 44.- Interfaz principal para la administración del catálogo enfermedad-cultivo.

### *Agregar relación entre cultivo y enfermedad*

La función agregar una relación entre enfermedad y cultivo, despliega una ventana que permite seleccionar de una lista la enfermedad, almacenada en la base de datos (ver en la parte de administración de enfermedades), y el cultivo susceptible a dicha enfermedad, como se observa en la Figura 45.



Figura 45.- Interfaz para agregar una relación entre enfermedad y cultivo.

Como se puede observar en la Figura anterior, del lado derecho de las listas hay un botón con la leyenda “+ ENFERMEDADES”, el cual permite realizar la administración del catálogo de enfermedades, y el botón “+ CULTIVOS”, realiza la administración de cultivos, respectivamente.

Para evitar redundancia en la tabla enfermedad-cultivo el sistema no permite capturar un registro de una enfermedad asociada a un cultivo ya registrada en la base de datos; cuando el usuario selecciona una enfermedad y un cultivo ya existentes, el sistema muestra una ventana informando que ya existe la enfermedad para ese cultivo.

### *Modificar relación entre cultivo y enfermedad*

La función para modificar la relación de una enfermedad a un cultivo, permite cambiar la enfermedad asociada a un cultivo o viceversa. Para realizar esta operación es necesario seleccionar el registro de interés de la tabla; al igual que la opción de agregar un registro la función de modificar no permite introducir registros idénticos.

### *Eliminar relación entre cultivo y enfermedad*

Para eliminar un registro de la tabla enfermedad\_cultivo, se selecciona el registro de interés de la lista, y la opción eliminar despliega una ventana solicitando la confirmación de la eliminación, como se muestra en la Figura 46.

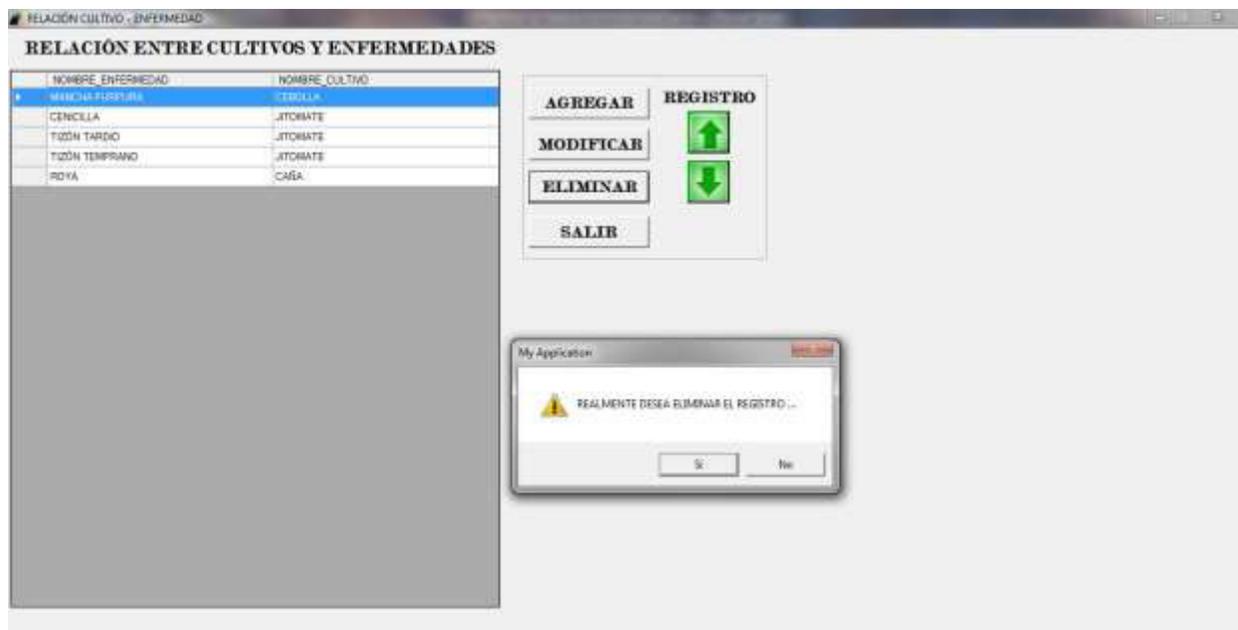


Figura 46.- Confirmación para la eliminar registro de enfermedad asociada a un cultivo.

El resto de tablas de la base de datos, almacena información generada y administrada por los procesos del sistema de cálculo de riesgos, a continuación se describen cada una de las tablas restantes.

#### 4.3.9 Tabla nuevos\_riesgos\_ef

La tabla nuevos\_riesgos\_ef es una relación que almacena información de los riesgos calculados en cada una de las ejecuciones del módulo de cálculo de riesgos. Funciona como una tabla con datos temporales, como se explicará más adelante. Surge por la necesidad de almacenar en alguna estructura los riesgos calculados para ser procesados e informados por otros procesos. La estructura de la tabla nuevos\_riesgos\_ef es la que se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14.- Tabla nuevos\_riesgos\_ef.

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>
PRODUCTOR	Número de la enfermedad en el sistema	Entero
PARCELA	Número de la parcela en el sistema	Entero
ENFERMEDAD	Número de la enfermedad en el sistema	Entero
FECHA	Fecha del riesgo de enfermedad	Fecha
PROCESADO	Informa si el riesgo ya fue procesado para generar la alerta	Carácter

El campo llave (clave principal) está compuesto por los campos PRODUCTOR, PARCELA, ENFERMEDAD y FECHA.

*FECHA:* Indica la fecha, en la que el proceso de cálculo de riesgos detectó condiciones climáticas para el desarrollo de enfermedades para el cultivo establecido en la parcela.

*PROCESADO:* Señala si el registro del riesgo ya fue considerado por el proceso de generación de alertas. El valor “NO” indica que el registro no ha sido procesado para la generación de la alerta, mientras que “SI” señala que el riesgo ya fue considerado por dicho proceso.

#### 4.3.10 Tabla riesgos\_no\_informados

La tabla riesgos\_no\_informados es una relación que almacena información de los riesgos ya calculados pero que aún no se han informado a los productores. Esta tabla se actualiza a partir de la tabla nuevos\_riesgos\_ef y al igual que ésta, funciona como una tabla con datos temporales. La estructura de la relación se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15.- Tabla riesgos\_no\_informados.

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>
PRODUCTOR	Número de la enfermedad en el sistema	Entero
ENFERMEDAD	Número de la enfermedad en el sistema	Entero
FECHA	Fecha del riesgo de enfermedad	Fecha
PARCELA	Número de la parcela en el sistema	Entero
CULTIVO	Número del cultivo establecido en la parcela	Entero
PROCESADO	Informa si el riesgo ya fue procesado para generar la alerta	Carácter

La relación contiene un campo llave compuesto por los campos PRODUCTOR, ENFERMEDAD, FECHA y PARCELA. Platicamos sobre esta tabla

#### 4.3.11 Tabla avisos\_generados

La tabla avisos\_generados es una relación que se alimenta de varias tablas y almacena todos los mensajes de las alertas generadas por el sistema; en la Tabla 16 se muestran los campos de esta tabla de la base de datos.

Tabla 16.- Tabla avisos\_generados.

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Comentario</b>
PRODUCTOR	Número del productor en el sistema	Entero	
FECHA	Fecha en la que se genera la alerta	Fecha	
MENSAJE_EMAIL	Mensaje diseñado para enviar al correo electrónico	Texto	
MENSAJE_SMS	Mensaje diseñado para enviar como mensaje de texto, a un celular	Texto	
MODULO_ENVIO	Señala si el envío es a e-mail a celular o ambos	Texto	
DIA_PARA_AVISAR	Cuando requiere recibir los mensajes	Entero	0 = nunca requiere las alertas, 1 al 7 = número de día de la semana, 8 = siempre quiere recibir las alertas
E_MAIL	Dirección de correo electrónico	Texto	
CELULAR	Número de teléfono celular	Texto	
ENVIADO	Informa si el mensaje fue enviado o no	Carácter	SI = ya fue enviada la alerta, NO = no ha sido enviada

El campo llave está formado por los campos PRODUCTOR y FECHA.

#### 4.4 Consulta de riesgos para el desarrollo de enfermedades

El módulo de consulta de riesgos para el desarrollo de enfermedades permite consultar las alertas en tiempo real. La consulta se puede hacer de dos maneras diferentes.

- Los productores o usuarios registrados pueden consultar los riesgos generados en sus parcelas; se muestran las alertas generadas en el día de la consulta y de los dos días anteriores.
- Consulta general; cualquier persona consulta mediante un mapa del estado de Morelos los riesgos para el desarrollo de enfermedades en cualquier lugar de dicho lugar.

##### 4.4.1 Consulta de productores o usuarios registrados

La interfaz principal de la consulta de alertas, permite seleccionar el tipo de consulta, es decir, consulta de un productor registrado o una consulta general, como se muestra en la Figura 47.

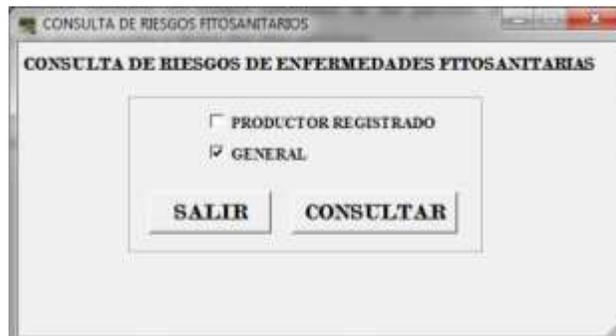


Figura 47.- Interfaz principal para la consulta de riesgos.

Puesto que los datos de un productor sólo se le ofrecen a éste, la opción “productor registrado” solicita introducir el nombre de usuario y su contraseña, ilustrada en la Figura 48.

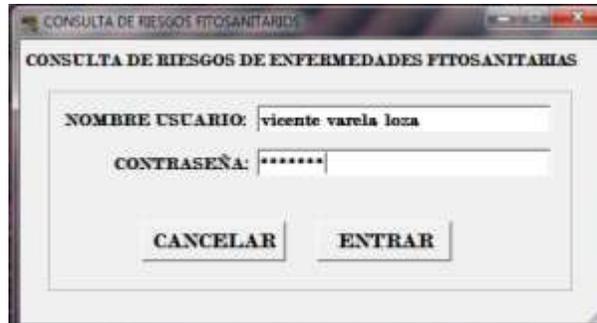


Figura 48.- Interfaz para la consulta de alertas.

Después de la autenticación se muestra una ventana que lista las alertas sobre los riesgos para el desarrollo de enfermedades, en las parcelas registradas por el productor, como se muestra en la Figura 49.



Figura 49.- Lista de alertas de riesgos para el desarrollo de enfermedades.

El resultado de la consulta de un productor registrado, muestra las alertas generadas los últimos tres días, comenzando por el día de la consulta.

#### 4.4.2 Consulta general

La opción de consulta general permite a cualquier usuario (registrado o no en el sistema) consultar los riesgos para el desarrollo de enfermedades en cualquier lugar del Estado de Morelos. Esta opción muestra un mapa del estado donde el usuario puede seleccionar (con un click del ratón) o introducir las coordenadas de cualquier punto geográfico (del estado) para consultar los riesgos en ese lugar, como se ilustra en la Figura 50.



Figura 50.- Interfaz principal para la consulta de riesgos en enfermedades.

El proceso hace una interpolación de temperatura y humedad relativa, utilizando el método del inverso del cuadrado de las distancias descrito para consultas de clima. El resultado del cálculo de riesgos en el punto seleccionado se muestra en una ventana en la parte inferior derecha, como se observa en la Figura 51. El resultado muestra todas las enfermedades con altos riesgos de desarrollo en ese lugar.



Figura 51.- Selección del lugar de interés para el cálculo de riesgos de enfermedades.

El programa permite la selección de otro lugar o “regresar” a la opción anterior (el tipo de consulta que se desea efectuar).

#### 4.5 Envío de alertas

La generación de alertas por la presencia de condiciones para el desarrollo de enfermedades fitosanitarias es una de las aplicaciones principales del presente trabajo de investigación. Cuando el cálculo de riesgos determina que se presentaron las condiciones para el desarrollo de enfermedades, se crea un registro en la tabla nuevos\_riesgos\_ef, que constituye la base del módulo para la generación de alertas.

El sistema genera las alertas en forma automática. Este proceso se implementó para alertar a los productores sobre los posibles riesgos de desarrollo de enfermedades en sus cultivos. El primer paso de este proceso es consultar la tabla nuevos\_riesgos\_ef para procesarlos e introducirlos en la relación riesgos\_no\_informados.

Cuando se procesan los nuevos riesgos se convierten en registros no informados. Este proceso elimina de la base de datos los registros afectados de la tabla nuevos riesgos. De ese modo, las tablas nuevos\_riesgos\_ef y riesgos\_no\_informados funcionan como tablas con valores

temporales, es decir se agregan y eliminan registros de acuerdo a los procesos que los generan o usan.

El módulo de generación de alertas crea una tabla en memoria; los registros contienen los parámetros del productor, el cultivo y la enfermedad. Esta tabla sirve para generar los registros de las alertas que se enviarán a los productores o usuarios del sistema.

Los mensajes de las alertas contienen los riesgos presentados en todas las parcelas registradas por un productor, es decir, un mensaje puede contener los riesgos de enfermedades de diferentes parcelas.

Las alertas se envían por correos electrónicos, mensajes de texto vía celular (SMS), o ambas, donde la dirección de correo electrónico y número de celular se obtienen del registro del productor (ver administración de productores).

Las alertas por correo electrónico se hacen de forma concurrente, es decir, se mandan todas las alertas al mismo tiempo, logrando con esto un mejor manejo de recursos informáticos. Se muestra a continuación la rutina (programada en el lenguaje Visual Basic.Net) que hace el envío de alertas por correo electrónico.

```
Public Sub CORREO_ELECTRONICO(ByVal POSICION As Object)
    Dim CORREO As New MailMessage()
    Dim SMTP As New SmtClient

    'CONFIGURACIÓN DEL STMP
    SMTP.Credentials = New System.Net.NetworkCredential("nombre@gmail.com", "contraseña")
    SMTP.Host = "smtp.gmail.com"
    SMTP.Port = 587
    SMTP.EnableSsl = True

    ' CONFIGURACION DEL MENSAJE
    CORREO.[To].Add(bsAvisos_Generados.Item(POSICION)("e_MAIL"))
    CORREO.From = New MailAddress("nombre@gmail.com", "SIAFEMOR",
    System.Text.Encoding.UTF8)
    CORREO.Subject = "URGENTE: EXISTEN RIESGOS DE ENFERMEDADES EN SUS CULTIVOS"
    CORREO.SubjectEncoding = System.Text.Encoding.UTF8
    CORREO.Body = bsAvisos_Generados.Item(POSICION)("MENSAJE_EMAIL")
    CORREO.BodyEncoding = System.Text.Encoding.UTF8
```

```
CORREO.Priority = MailPriority.Normal
CORREO.IsBodyHtml = False
```

```
Try
    SMTP.Send(CORREO)
    EST_MENSAJES(POSICION).ESTADO = "0"

Catch ex As System.Net.Mail.SmtpException
    EST_MENSAJES(POSICION).ESTADO = "1"
End Try
```

```
    NUM_HILOS_REGRESADOS += 1
End Sub
```

La rutina descrita contiene los parámetros del correo utilizado por el sistema para el envío de correos electrónicos, la cuenta de correo electrónico del productor o usuario del sistema tomada del registro del productor y el mensaje de alerta de los riesgos calculados en la o las parcelas del productor. Cuando por algún motivo el mensaje no se puede enviar se lo marca como no enviado y se inserta en un archivo de texto (bitácora), que sirve para la administración y control del envío de alertas.

En cada ejecución de envío de alertas se mandan los mensajes generados en ese instante y las alertas que no pudieron ser enviadas en ejecuciones pasadas. El envío de alertas mediante mensajes de texto a celular se hace utilizando la rutina siguiente.

```
Sub ENVIAR_MENSJE_TEXTO(ByVal CEL_DESTINO As String, ByVal MENS As String, ByVal
POSI As Integer, ByVal PORT As String)
```

```
Try
    serialport.DiscardInBuffer()
    serialport.Write("AT+CMGF=1" & Chr(13))
    System.Threading.Thread.Sleep(1000)
    serialport.Write("AT+CMGS=" & Chr(34) & CEL_DESTINO & Chr(34) & Chr(13))
    System.Threading.Thread.Sleep(1000)
    serialport.Write(MENS & Chr(26))
    Application.DoEvents()
    System.Threading.Thread.Sleep(1000)
    EST_MENSAJES(POSI).ESTADO = "0"
Catch Ex As IO.IOException
    EST_MENSAJES(POSI).ESTADO = "1"
End Try
End Sub
```

La rutina anterior recibe como parámetros el número de celular destino, el mensaje de la alerta, la posición en la tabla de la alerta y el puerto de la computadora en donde se encuentra conectado el dispositivo que provee al sistema del servicio de mensajes SMS. Al igual que el módulo de envío de correos electrónicos, esta rutina tiene una bitácora que administra y controla los mensajes no enviados.

El envío oportuno de alertas permite realizar aplicaciones oportunas y preventivas para evitar que el cultivo se vea afectado por la enfermedad diagnosticada. Las aplicaciones preventivas resultan ser más baratas que realizar aplicaciones correctivas, además de evitar o disminuir los síntomas de la enfermedad en el cultivo, consiguiendo con esto tener mejores rendimientos, menos gastos de producción y un mejor ingreso por producción.

Cuando una enfermedad se desarrolla en un cultivo, los síntomas se presentan después de varios días, causando bajas en los rendimientos, aumentando los gastos de producción y disminuyendo los ingresos del productor. De ese modo, el nuevo sistema resulta ser una herramienta para la toma de decisiones oportunas.

En cuestión ambiental, el cálculo oportuno del riego de enfermedades en los cultivos disminuye el uso de productos agresivos y altamente contaminantes.

## CAPITULO V. DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DE PLAGAS

### 5.1 Introducción al comportamiento fisiológico de plagas

La mayoría de los procesos fisiológicos del cultivo, insectos o enfermedades están fuertemente influenciados por la temperatura y humedad relativa, principalmente, sin que eso signifique que no intervienen otras variables como la precipitación, evapotranspiración, radiación solar, y las demás que se conocen y que registra una estación agroclimática típica (Ortiz, 1987).

Esta información es útil para establecer medidas preventivas para su control, además de predecir infestaciones o realizar muestreos dirigidos (Zalom *et al.*, 1983).

El manejo integrado de plagas ha sido definido por la FAO (1967) como: " el sistema de manejo de plagas, que en el contexto de la asociación del medio y la dinámica poblacional de las plagas, utiliza todas las técnicas y métodos adecuados de forma compatible, manteniendo las poblaciones nocivas a niveles por debajo de aquéllos causantes de daño económico".

El comportamiento fisiológico de las plagas se ve afectado por varios factores; uno de ellos es la presencia de condiciones de clima favorables para su desarrollo.

En Guanajuato, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ha impulsado desde inicios de los 1990's el uso de modelos de simulación dinámica en la identificación y solución de problemas en la agricultura (Quijano *et al.*, 2010).

En el Campo Experimental Zacatepec simulan el comportamiento fisiológico de plagas utilizando modelos dinámicos e información histórica de clima. El modelaje dinámico se hace con *VENSIM*, una herramienta visual de modelaje que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de dinámica de sistemas

Uno de los métodos utilizados para predecir el comportamiento del clima es el uso de los años análogos, que identifican patrones oceánicos y atmosféricos de años anteriores similares a las condiciones actuales (es decir del año en cuestión).

La información histórica se obtiene de archivos de texto que contienen datos registrados en años históricos por una red de estaciones que operaba en el estado de Morelos. Dichos archivos contienen la precipitación acumulada, temperatura máxima y mínima por día del todo el año. Cada archivo contiene datos históricos de todo un año.

El objetivo de este módulo de la investigación es proporcionar una herramienta que permita predecir el comportamiento fisiológico de las plagas de manera instantánea, para un control más oportuno. El módulo se organizó de la siguiente manera:

- Modelo de datos para le predicción del comportamiento fisiológico de plagas.
- Administración del modelo de datos.
- Simulación del comportamiento fisiológico de las plagas.

## **5.2 Modelo de datos para le predicción del comportamiento fisiológico de plagas**

Para la administración del módulo de la predicción del comportamiento fisiológico de plagas se diseñó la base de datos “plagas”, que consta de las tablas:

- Plagas
- Estadios
- plaga\_estadio
- estación\_plaga\_dia
- estaciones\_analogas
- estación\_mes\_analogo

La administración del modelo de datos consiste en una serie de funciones y rutinas que alimentan la base de datos correspondiente a plagas. La administración se realiza sobre las

tablas descritas en el apartado anterior. Esencialmente, se realizan funciones conocidas como el “ABC” (altas, bajas y cambios).

La estructura y administración de cada una de las tablas de la base de datos se describe a continuación.

### 5.2.1 Tabla plagas

La tabla plagas es un catálogo que almacena los datos necesarios para poder simular el comportamiento fisiológico de las plagas, la estructura de la relación se muestra y describe en la Tabla 17.

Tabla 17.- Plagas.

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>
PLAGA	Número de la plaga	Entero
NOMBRE_COMUN	Nombre común	Texto
NOMBRE_CIENTIFICO	Nombre científico	Texto
TEMP_BASE	Temperatura base	Entero
UMBRAL_MAX	Umbral máximo	Entero
UNIDADES_CALOR_OVIPOSITA	Número de unidades calor cuando oviposita	Entero

El campo llave de la relación es PLAGA; a continuación se describen los campos de la tabla.

*PLAGA*: Representa el número identificador de la plaga en el sistema.

*NOMBRE\_COMUN*: Representa el nombre común con el que se le conoce a la plaga.

*NOMBRE\_CIENTIFICO*: Representa el nombre científico de la plaga.

*TEMP\_BASE*: Es la temperatura mínima necesaria para activar la actividad fisiológica, “valor observado multiplicado por 10”.

*UMBRAL\_MAX*: Es la temperatura máxima necesaria para activar la actividad fisiológica, “valor observado multiplicado por 10”.

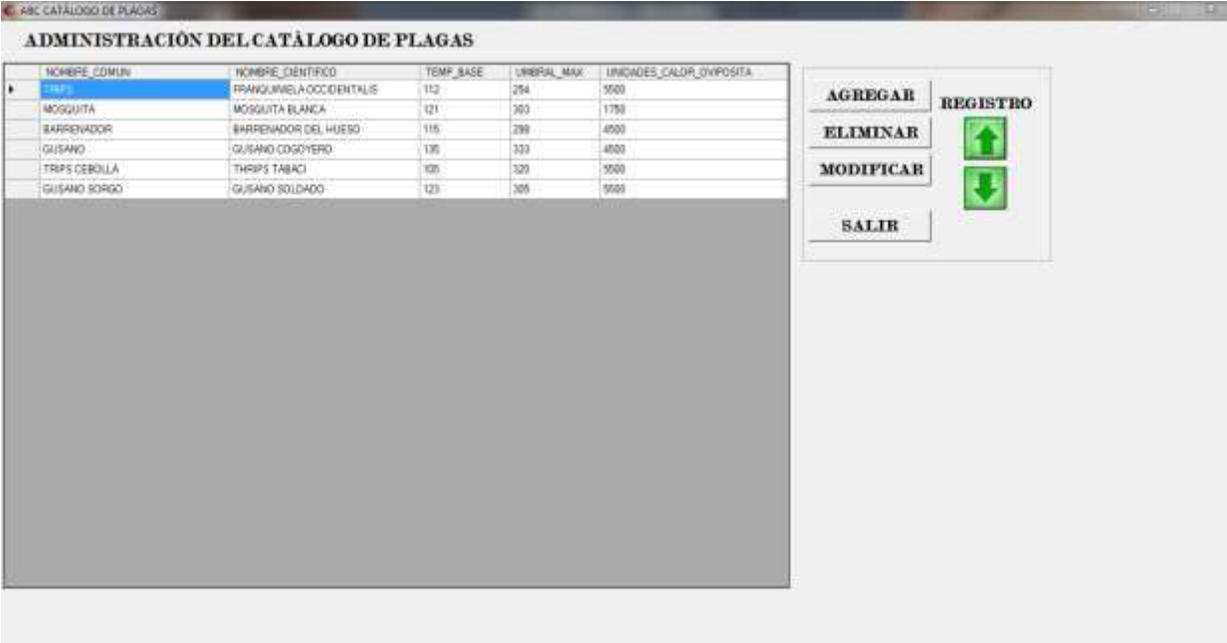
*UNIDADES\_CALOR\_OVIPOSITA*: Representa el número de unidades calor acumuladas necesarias para poner huevos, “valor observado multiplicado por 10”.

Observación: las tres variables numéricas se almacenan como número entero, multiplicando por 10 el valor indicado (con una cifra decimal).

## 5.2.2 Administración del catálogo de plagas

El catálogo de plagas almacena los datos generales de cada una de las plagas en estudio. Los datos almacenados en esta tabla son los pilares para el análisis y estudio del comportamiento fisiológico de las plagas.

La interfaz principal muestra una tabla que contiene todos los registros de la relación y el menú principal para la administración del catálogo, como se puede observar en la Figura 52.



NOMBRE_COMUN	NOMBRE_CIENTIFICO	TEMP_BASE	UMBRAL_MAX	UNIDADES_CALOR_OVPOSITA
TRIPS	FRANQUINELA OCCIDENTALIS	112	254	5500
MOGUITA	MOSQUITA BLANCA	121	303	1750
BARREADOR	BARREADOR DEL HUESO	115	298	4500
GUSANO	GUSANO COGOYERO	135	323	4500
TRIPS CEBOLLA	THRIPS TABACI	105	320	5500
GUSANO BORGÓ	GUSANO SOLDADO	123	305	5500

Figura 52.- Interfaz principal para la administración de plagas.

Las funciones primordiales de la administración del catálogo de plagas al igual que las administraciones de otros catálogos, contemplan las operaciones “ABC” las cuales se describen a continuación.

### *Agregar un registro de plaga*

La opción agregar un nuevo registro de plaga despliega una ventana que permite introducir sus parámetros, donde el número de plaga es calculado por el sistema y resulta del número siguiente al último registro, como se puede observar en la Figura 53.

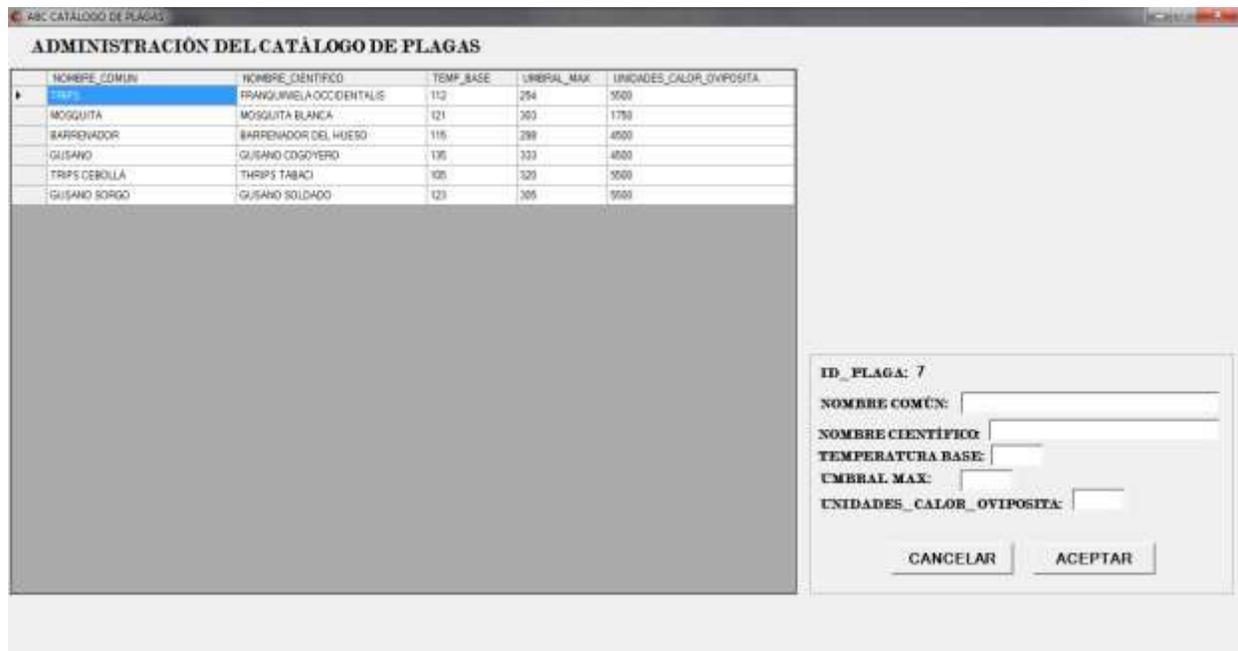


Figura 53.- Agregar un registro de plaga.

La función agregar una plaga no permite registrar una plaga con el mismo nombre científico o nombre común; cuando por alguna razón el usuario intenta introducir una plaga con el nombre de algún registro existente el sistema muestra una ventana con el siguiente mensaje “IMPOSIBLE INSERTAR ESTA PLAGA, EXISTE UNA PLAGA CON EL MISMO NOMBRE...”.

### *Eliminar el registro de una plaga*

La función eliminar permite borrar de forma permanente un registro de la tabla, para realizar le eliminación primero se debe seleccionar el registro de interés. Antes de realizar la eliminación

se despliega una ventana solicitando la confirmación de la operación, como se muestra en la Figura 54.

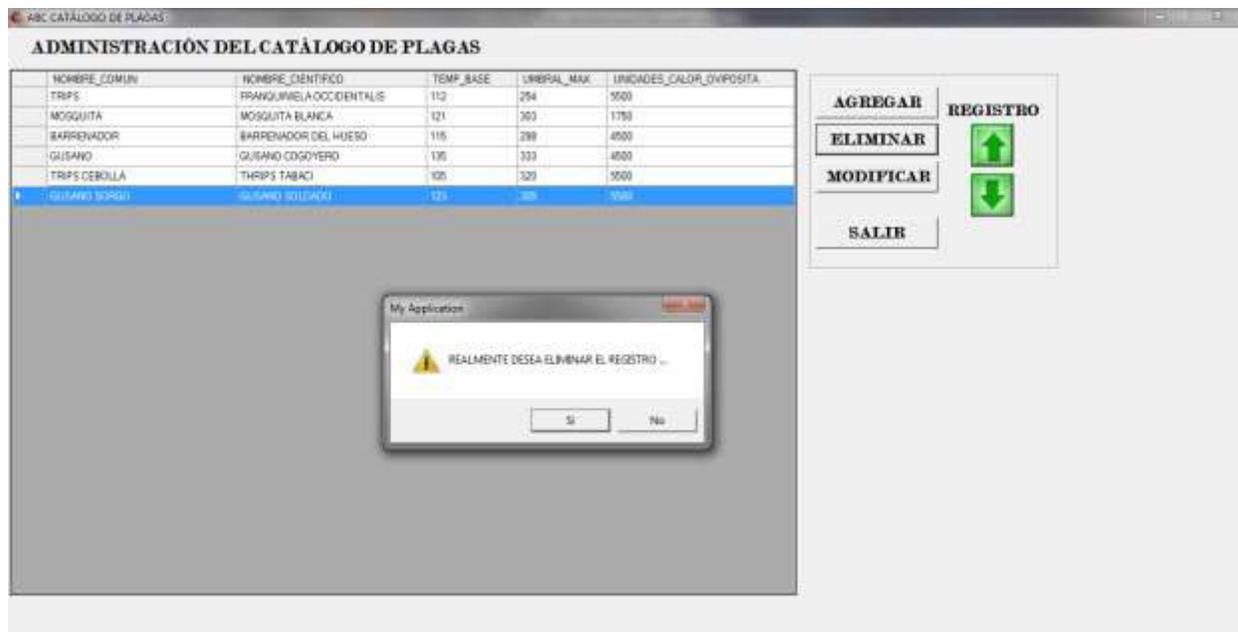


Figura 54.- Eliminación de un registro de plaga.

La tabla plagas está relacionada con la tabla plaga\_estadio. Por lo tanto el sistema no permite eliminar un registro si la plaga se encuentra relacionada con uno o varios estadios en la tabla plaga\_estadio: en este caso primero se deben eliminar los registros de la tabla plaga\_estadio donde aparezca la plaga en cuestión.

#### *Modificar un registro de plaga*

La función para modificar el registro de una plaga, permite realizar cambios en los datos de una plaga. Tras seleccionar la plaga deseada, el sistema despliega una ventana que permite cambiar los parámetros del registro, como se muestra en la Figura 55.

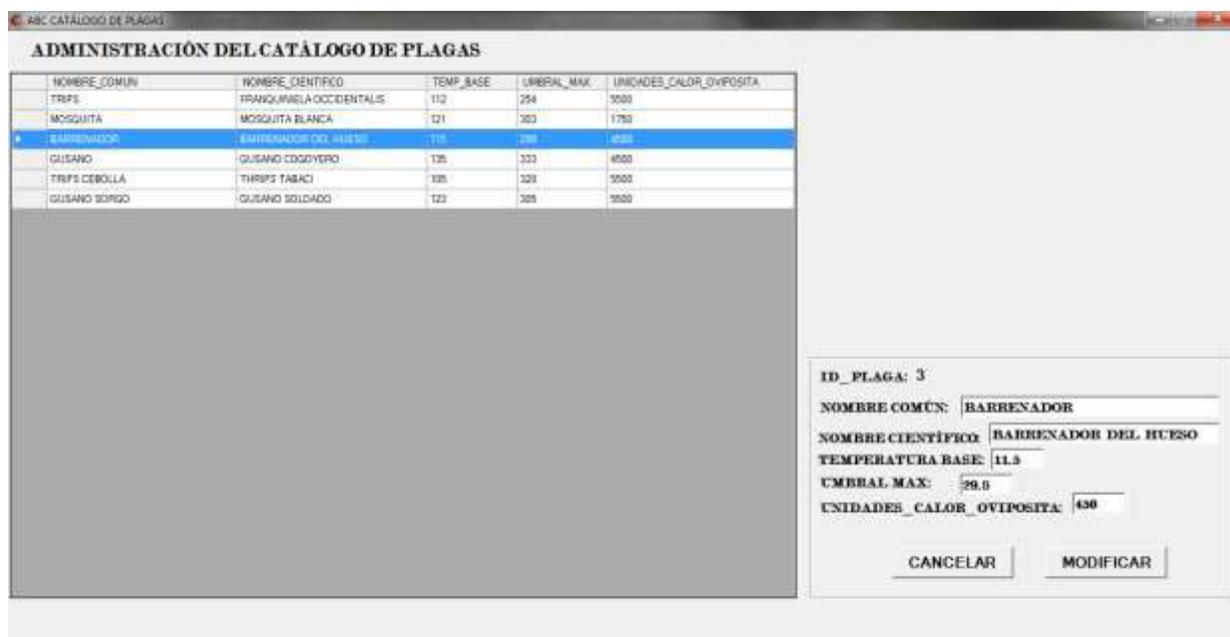


Figura 55.- Modificación de un registro de plaga.

Al igual que la función de agregar, la opción modificar no permite insertar un nombre científico o común igual al de un registro existente.

### 5.2.3 Tabla estadios

Un estadio es una de las etapas por los que pasa una plaga en su desarrollo biológico. La tabla estadios es un catálogo que almacena los diferentes estados biológicos por los que pasa una plaga, comenzando en huevo y terminando en adulto, la estructura puede ser observada en la Tabla 18.

Tabla 18.- Estadios.

Campo	Descripción	Tipo de dato
ESTADIO	Número del estadio	Entero
NOMBRE_ESTADIO	Nombre con el que se identifica el estadio	Texto

## 5.2.4 Administración del catálogo de estadios

La administración del catálogo de estadios permite almacenar y manejar los diferentes estados de las plagas; este catálogo permite administrar todos los estados de diferentes plagas. La interfaz principal de esta administración muestra una tabla que contiene todos los estadios de las plagas y un menú principal que permite realizar las operaciones básicas de dicha administración, como se puede observar en la Figura 56.



Figura 56.- Administración del catálogo de estadios.

Las operaciones básicas del catálogo de estadios son agregar, eliminar y modificar, las cuales se describen a continuación.

### *Agregar un estadio*

La función para agregar un estadio muestra una ventana que permite capturar el nombre con el que se le conoce a dicha etapa, como se muestra en la Figura 57.



Figura 57.- Registro de un estadio.

El campo llave de tabla estadios es el estadio (un número proporcionado de forma automática por el sistema y resulta del número siguiente del último registro de la tabla). La función para anexar un nuevo registro de estadios, no permite registrar dos estadios con el mismo nombre.

#### *Eliminar el registro de un estadio*

La opción eliminar el registro de un estadio, permite borrar de forma permanente el registro de la base de datos. Para realizar esta operación primero se debe seleccionar el registro de interés. Antes de eliminar el registro correspondiente el sistema muestra una ventana solicitando la confirmación de la operación, como se muestra en la Figura 58.

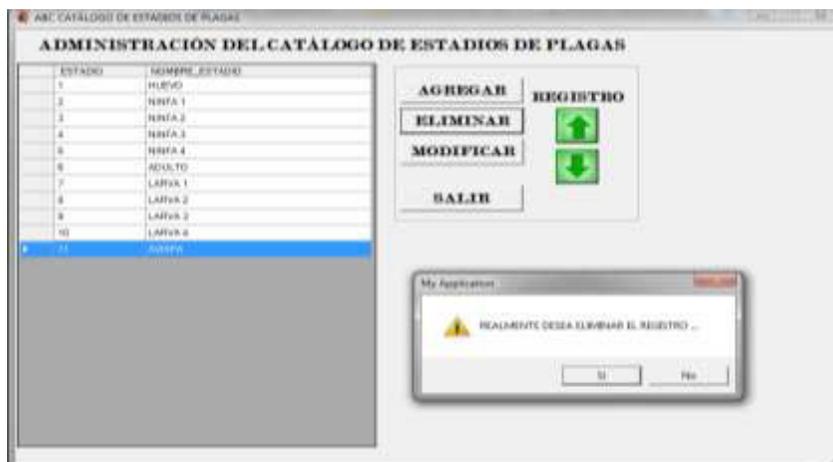


Figura 58.- Eliminación de un registro de estadio.

La función para eliminar un estadio no permite eliminar estadios que se encuentran relacionados con alguna plaga; cuando el usuario desea eliminar un estadio y este se encuentra relacionado, se muestra una ventana con el mensaje “IMPOSIBLE ELIMINAR ESE ESTADIO, SE ENCUENTRA RELACIONADO EN OTRA TABLA ...”. En este caso primero se debe eliminar los registros de la tabla plaga\_estadio en donde aparezca el estadio en cuestión.

### *Modificar el registro de un estadio*

La modificación de un registro de estadio, permite cambiar el nombre de un estadio. Se selecciona el registro de interés y la opción de modificación despliega una ventana con el nombre del estadio, el cual puede ser cambiado, como se muestra en la Figura 59.



Figura 59.- Modificación de un registro de estadio.

Al igual que la opción agregar, la función modificar no permite hacer el cambio de nombre por un nombre existente en la tabla.

### **5.2.5 Tabla plaga\_estadio**

La relación plaga\_estadio surge entre los catálogos plagas y estadios: se almacenan los datos de todo un ciclo biológico de una plaga, es decir, inicia en el estado de huevo, pasando por estadios

intermedios y terminando con el estado adulto. En la Tabla 19 se puede observar la estructura de dicha relación.

Tabla 19.- Plaga\_estadio.

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>
PLAGA	Número de la plaga	Entero
ESTADIO	Número del estadio	Entero
NOMBRE_ESTADIO	Nombre con el que se identifica el estadio	Texto
SIGUIENTE_ESTADIO	Número del siguiente estadio	Entero
UNIDADES_CALOR_INICIA	Cantidad de unidades calor acumuladas cuando inicia	Entero
UNIDADES_CALOR_CAMBIA	Cantidad de unidades calor acumuladas cuando inicia	Entero

ESTADIO: Número del estadio

*PLAGA*: Representa el número identificador de la plaga en el sistema.

*ESTADIO*: Representa el identificador del estadio.

*NOMBRE\_ESTADIO*: Representa el nombre con el que se identifica el estadio.

*SIGUIENTE\_ESTADIO*: Es el número identificador del siguiente estadio.

*UNIDADES\_CALOR\_INICIA*: Son las unidades calor acumuladas cuando inicia el estadio, “valor observado multiplicado por 10”.

*UNIDADES\_CALOR\_CAMBIA*: Son las unidades calor acumuladas necesarias para que la plaga cambie de estadio, “valor observado multiplicado por 10”.

### 5.2.6 Administración del catálogo plaga\_estadio

Como se vio, el catálogo plaga\_estadio es la relación existente entre las tablas plagas y estadios. El catálogo almacena la información de todo el ciclo biológico de las plagas. La interfaz principal muestra una tabla con todos los registros de plagas, en sus diferentes etapas biológicas, como se puede observar en la Figura 60.

NUMERO CORRIENTE	NUMERO ESTADIO	NUM. DEL ESTADO	NOMBRE IDENTIFIC	TEMPERATURA BASE	LINEA
TRIPS	HUEVO	NINFA 1	FRANGULIBELA OCCIDENTALIS	112	204
TRIPS	NINFA 1	NINFA 2	FRANGULIBELA OCCIDENTALIS	112	204
TRIPS	NINFA 2	NINFA 3	FRANGULIBELA OCCIDENTALIS	112	204
TRIPS	NINFA 3	NINFA 4	FRANGULIBELA OCCIDENTALIS	112	204
TRIPS	NINFA 4	ADULTO	FRANGULIBELA OCCIDENTALIS	112	204
TRIPS	ADULTO	HUEVO	FRANGULIBELA OCCIDENTALIS	112	204
MOSQUITA	HUEVO	NINFA 1	MOSQUITA BLANCA	121	200
MOSQUITA	NINFA 1	NINFA 2	MOSQUITA BLANCA	121	200
MOSQUITA	NINFA 2	ADULTO	MOSQUITA BLANCA	121	200
MOSQUITA	ADULTO	HUEVO	MOSQUITA BLANCA	121	200
BARRINADOR	HUEVO	NINFA 1	BARRINADOR DEL HUEVO	115	208
GUSANO	HUEVO	NINFA 1	GUSANO COCOYERO	118	211
GUSANO	NINFA 1	NINFA 2	GUSANO COCOYERO	118	211
GUSANO	NINFA 2	NINFA 3	GUSANO COCOYERO	118	211
GUSANO	NINFA 3	ADULTO	GUSANO COCOYERO	118	211
GUSANO	ADULTO	HUEVO	GUSANO COCOYERO	118	211
TRIPS CEBOLLA	HUEVO	NINFA 1	TRIPS TABACO	108	220
TRIPS CEBOLLA	NINFA 1	NINFA 2	TRIPS TABACO	108	220
TRIPS CEBOLLA	NINFA 2	NINFA 3	TRIPS TABACO	108	220
TRIPS CEBOLLA	NINFA 3	NINFA 4	TRIPS TABACO	108	220
TRIPS CEBOLLA	NINFA 4	ADULTO	TRIPS TABACO	108	220
TRIPS CEBOLLA	ADULTO	HUEVO	TRIPS TABACO	108	220

Figura 60.- Administración del catálogo plaga\_estadio.

Las funciones principales de este módulo son agregar, eliminar y modificar; la clave de una buena administración de este módulo es introducir el ciclo completo de una plaga, comenzando por el estadio de huevo y terminando en el estado adulto. A continuación se describe cada una de las operaciones principales de este módulo.

En el menú principal se encuentran dos botones de color azul, los cuales permiten agregar más plagas y estadios en caso de ser necesario (ver sección de administración de plagas y estadios).

#### *Agregar un registro de plaga\_estadio*

La función agregar un registro de plaga\_estadio, permite capturar una por una las diferentes etapas biológicas de una plaga. Despliega una ventana que permite seleccionar de una lista la plaga, el estadio y el estadio siguiente de la plaga de interés, para capturar los parámetros unidades calor acumuladas cuando inicia y cuando termina la etapa; estos dos últimos parámetros son los utilizados por el proceso de simulación. La función descrita se ilustra en la Figura 61.

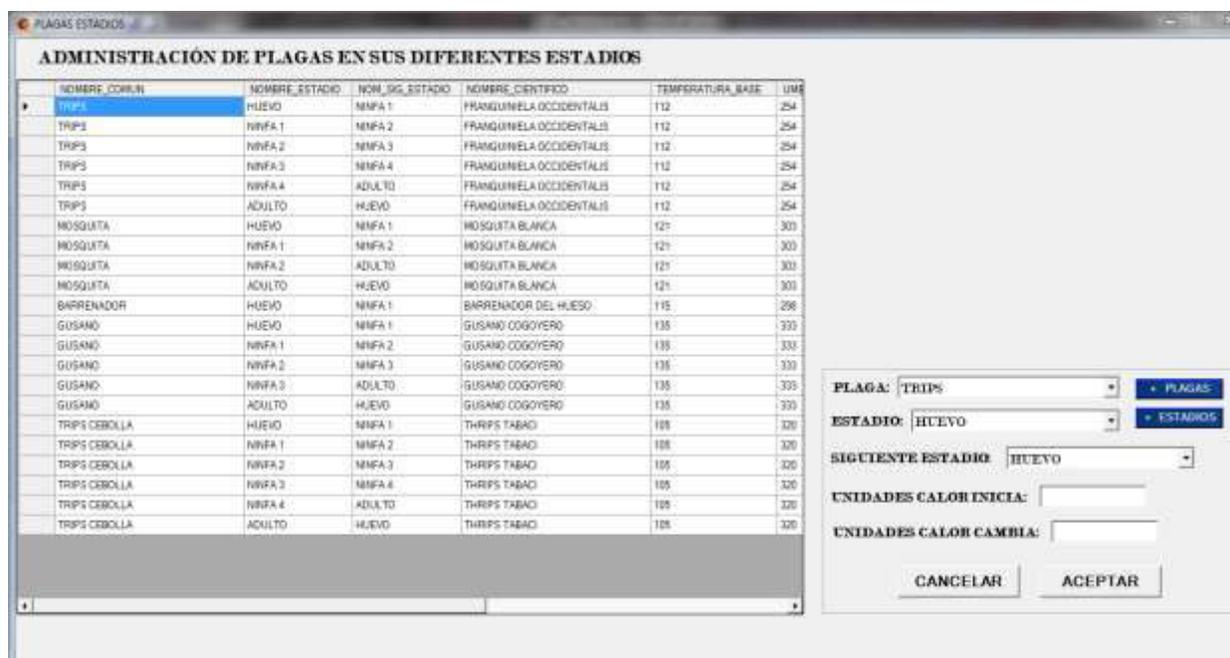


Figura 61.- Agregar registro de plaga\_estadio.

Como se puede observar en la Figura anterior, a un costado de las listas de plaga y estadio, se encuentran los botones con las leyendas “+ PLAGAS” y “+ ESTADIOS”, que permiten administrar nuevos registros de plagas y estadios, respectivamente, cuando la lista no contenga el parámetro deseado. La función agregar no permite introducir dos veces el mismo estadio de una plaga.

#### *Eliminar registro de plaga\_estadio*

La función eliminar permite borrar de la base de datos de forma permanente el registro de una plaga\_estadio. Se selecciona el registro de interés, y aparece una ventana solicitando la confirmación de la operación.

#### *Modificar un registro de plaga\_estadio*

La opción para modificar el registro de una plaga\_estadio, permite cambiar los parámetros: siguiente estadio, unidades calor cuando inicia, unidades calor cuando cambia, como se muestra en la Figura 62.

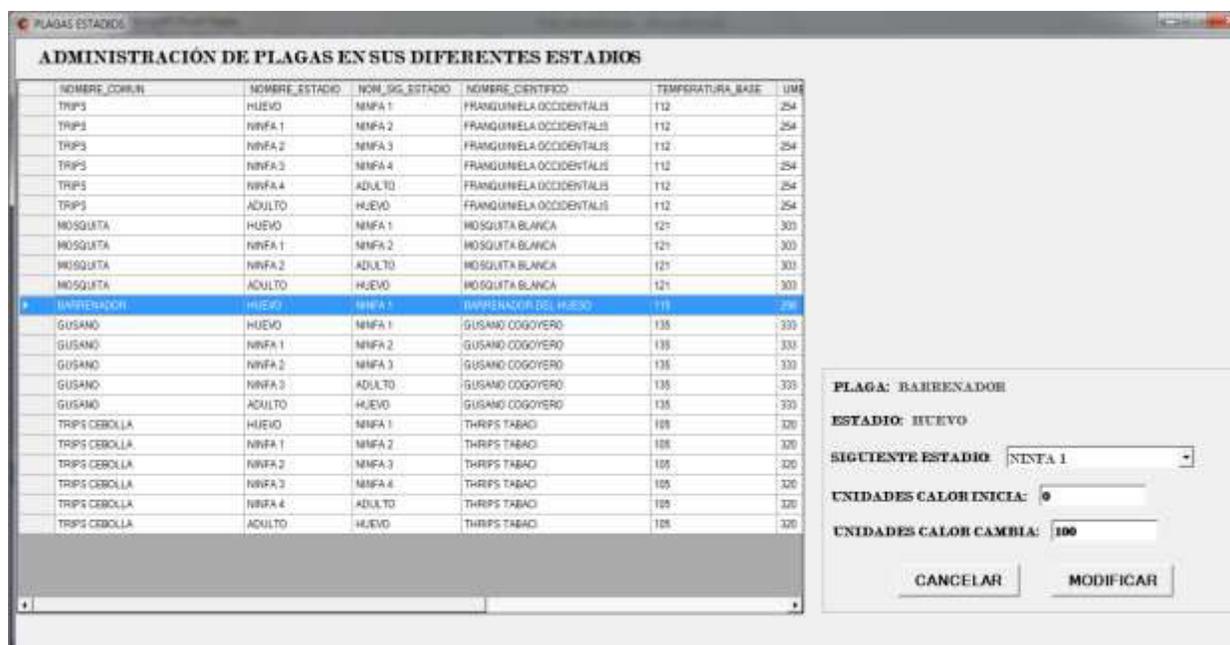


Figura 62.- Modificación de los parámetros de plaga\_estadio.

### 5.2.7 Tabla estación\_plaga\_dia

La tabla estación\_plaga\_dia almacena los registros generados por la simulación, donde cada registro representa los valores calculados en un día. La estructura de la relación se puede observar en la Tabla 20.

Tabla 20.- Estacion\_plaga\_dia.

Campo	Descripción	Tipo de dato
ESTACION	Número de la estación histórica	Entero
PLAGA	Número de la plaga	Entero
ANIO	Número del año de la simulación	Texto
MES	Mes de la simulación	Entero
DIA	Número de día del mes de la simulación	Entero
ESTADIO	Número del estadio en ese día	Entero
UNDADES_CALOR_ACUM	Cantidad de unidades calor acumuladas en el día	Entero
TEMP_PROMEDIO	Temperatura promedio en el día	Entero
UNIDADES_CALOR_ESE_DIA	Unidades calor generadas en el día	Entero
CAMBIA_ESTADIO	Cambió o no de estadio en el día	Texto
SIGUIENTE_ESTADIO	Número del siguiente estadio	Entero
NUM_GENERACION	Número de la generación en el día	Entero

El campo llave está compuesto por los campos ESTACION, PLAGA, ANIO, MES y DIA; a continuación se describe cada uno de los campos.

*ESTACION*: Representa el número identificador de la estación histórica.

*PLAGA*: Representa el número identificador de la plaga.

*ANIO*: Representa el número del año de la simulación.

*MES*: Es el número del mes de la simulación.

*DIA*: Indica el número de día del mes de la simulación.

*ESTADIO*: Representa el número identificador del estadio.

*UNIDADES\_CALOR\_ACUM*: Son las unidades calor acumuladas hasta ese día de la simulación.

*TEMP\_PROM*: Almacena la temperatura promedio proyectada en el día.

*UNIDADES\_CALOR\_ESE\_DIA*: Es la cantidad de unidades calor generadas en el día.

*CAMBIA\_ESTADIO*: Indica si cambio de estadio en el día, “SI” = cambio, “NO” = no cambio.

*SIGUIENTE\_ESTADIO*: Representa el número del siguiente estadio.

*NUM\_GENERACION*: Indica el número de la generación en la que se encuentra la plaga.

### 5.2.8 La tabla estaciones\_analogas

En la tabla estaciones\_analogas se almacenan los datos de estaciones climáticas históricas. En la Tabla 21 se muestran y describen los campos de esta relación. Es importante señalar que estas EAM *no son* las de la red descrita ampliamente en esta tesis (la del INIFAP).

Tabla 21.- Estaciones\_analogas.

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>
ESTACION	Número de la estación en la red	Entero
NOMBRE	Nombre propio de la estación	Texto
UBICACION	Nombre del municipio donde se encuentra instalada la estación	Texto
LATITUD	Coordenada geográfica de la estación correspondiente a la Latitud	Entero
LONGITUD	Coordenada geográfica de la estación correspondiente a la Longitud	Entero

*ESTACION*: Indica el número asignado en la red de la estación, por su característica de ser único resulta en el campo llave de esta tabla.

*UBICACION*: Almacena el nombre del municipio donde se encuentra instalada la EAM.

La leyenda “valor observado multiplicado por 10,000” indica que el valor que llega tiene cuatro cifras decimales, pero se almacena como número entero en la base de datos.

*LATITUD*: Almacena la latitud en la que se encuentra geográficamente ubicada la estación, este campo está representado por los grados angulares. “Valor observado multiplicado por 10,000”.

*LONGITUD*: Al igual que la latitud, la longitud almacena la longitud en la que se encuentra ubicada la estación, este campo está representado por los grados angulares. “Valor observado multiplicado por 10,000”.

### 5.2.9 Administración de estaciones análogas

Hay información de clima histórica registrada por una red de estaciones climáticas históricas en el estado de Morelos; la administración de las estaciones análogas se encarga del mantenimiento de los datos de cada una de las estaciones. A continuación se describen cada una de las funciones del ABC de estaciones análogas.

La interfaz principal para la administración de estaciones análogas, muestra una tabla que contiene todas las estaciones registradas en la base de datos además del menú principal para la administración, como se observa en la Figura 63.

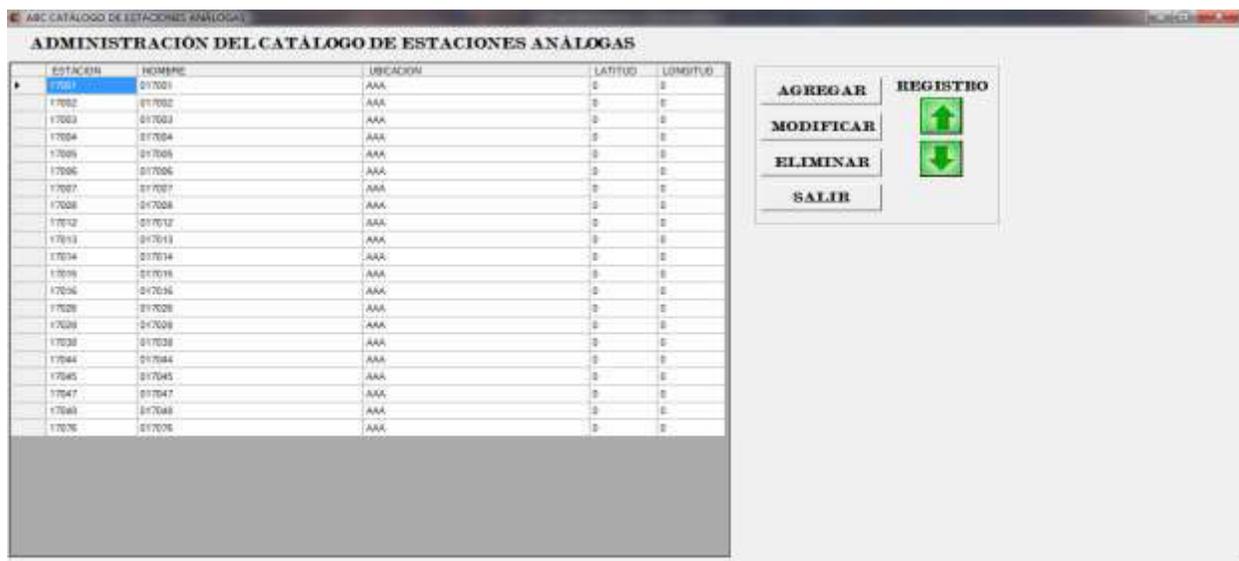


Figura 63.- Interfaz principal para la administración de estaciones análogas.

### *Agregar estación análoga*

La función agregar una estación análoga, permite anexar un estación en el catálogo de estaciones análogas. La opción agregar despliega una ventana que permite capturar los parámetros de cada una de las estaciones, prácticamente son los campos de la tabla estaciones\_analogas, como se muestra en la Figura 64.

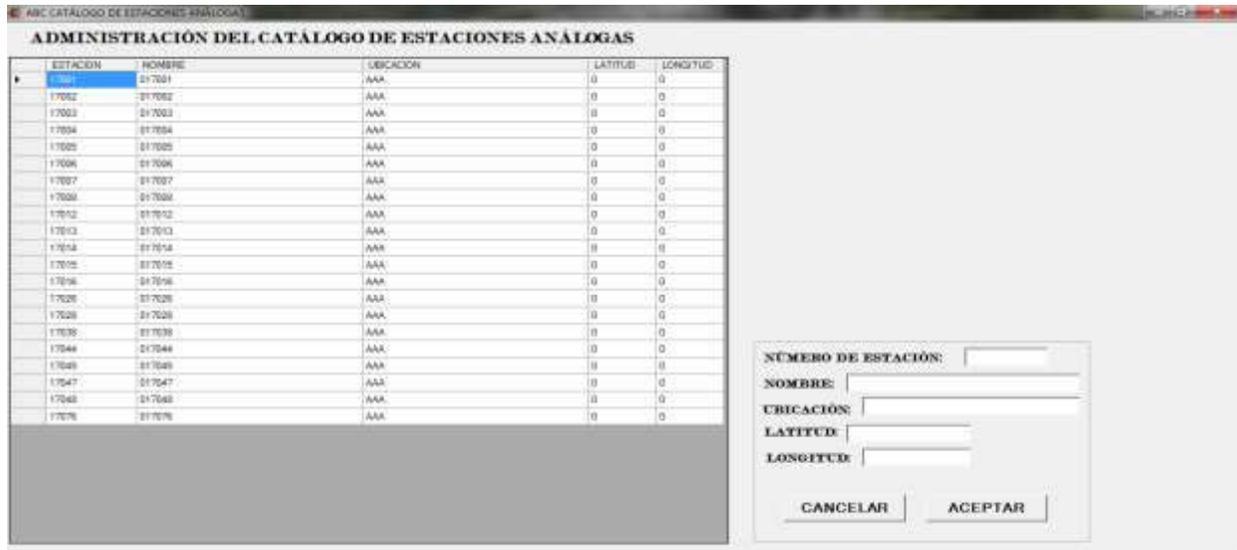


Figura 64.- Agregar registro de estación análoga.

### *Modificar registro de estación análoga*

La función modificar el registro de una estación análoga, permite realizar los cambios deseados sobre cualquier fila de la tabla; para utilizar la función modificar primero se debe seleccionar el registro de interés. La función despliega una ventana que contiene los datos del registro seleccionado, donde se pueden realizar los cambios deseados como se puede observar en la Figura 65.

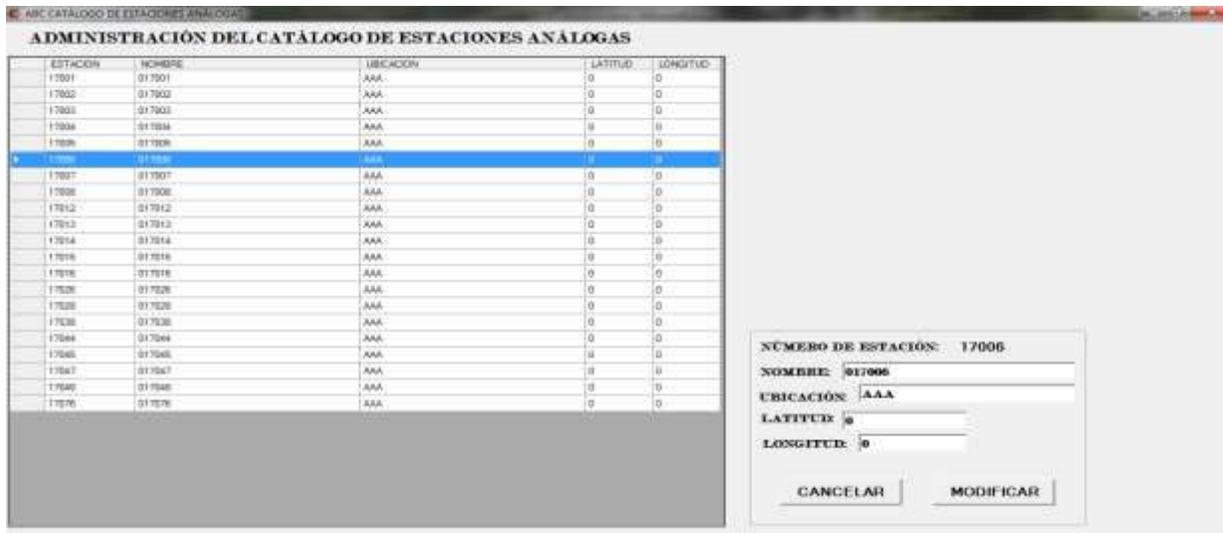


Figura 65.- Modificación del registro de una estación análoga.

El único dato que no se puede modificar es el número de estación debido a que resulta ser el campo llave de la tabla; cuando el número de una estación es capturado de forma incorrecta se recomienda eliminar el registro y volver a registrar la estación.

#### *Eliminar el registro de una estación análoga*

La función eliminar el registro de una estación análoga, permite eliminar de la base de datos de forma permanente el registro de una estación análoga. Para utilizar la opción de eliminar primero es necesario seleccionar el registro de interés, antes de proceder a eliminar un registro, la función despliega una ventana solicitando la confirmación de la operación, como se puede observar en la Figura 66.

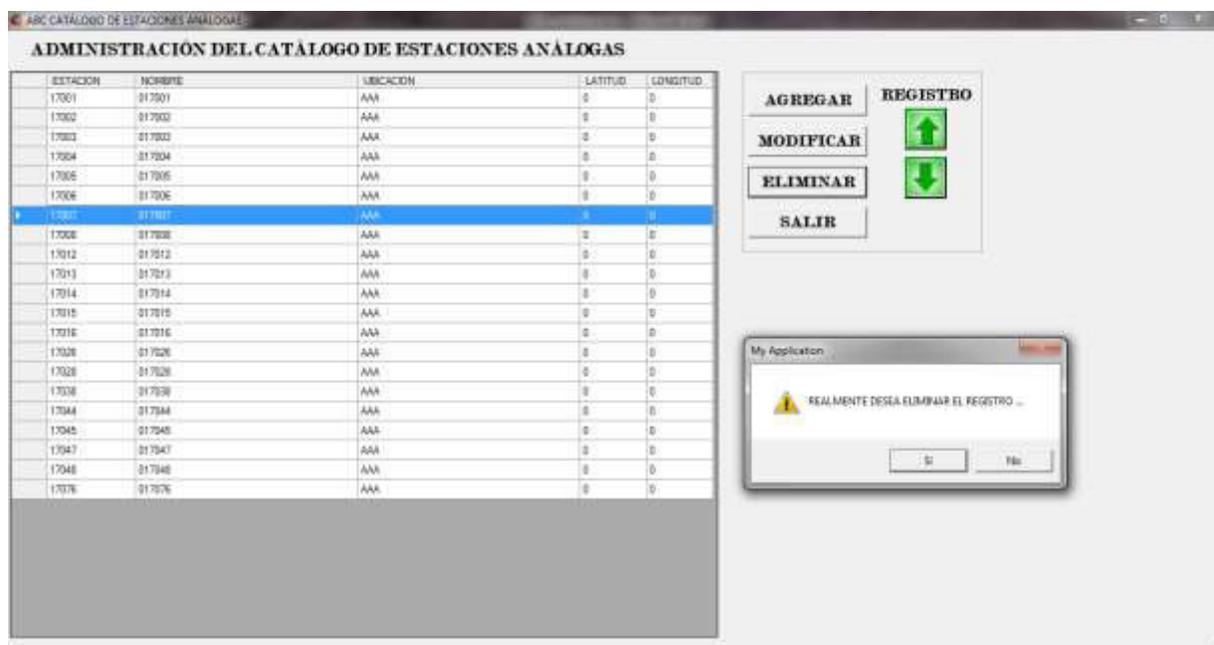


Figura 66.- Eliminación de un registro de estación análoga.

### 5.2.10 Estacion\_mes\_analogo

Esta tabla contiene información histórica de la precipitación acumulada y la temperatura promedio por día, donde un registro en la tabla representa los datos históricos de todo un mes. El índice principal de esta tabla está formado por los tres campos: ESTACION, ANIO y MES. Los campos que representan esta relación se muestran y describen en la Tabla 22.

Tabla 22.- Estacion\_mes\_analogo.

Campo	Descripción	Tipo de dato
ESTACION	Número de la estación en la red	Entero
ANIO	Año del dato	Entero
MES	Mes del dato	Entero
TEMPROM_D_1, TEMPROM_D_2...TEMPROM_D_31	Temperatura promedio del día	Entero
PRECACUM_D_1, PRECACUM_D_1...PRECACUM_D_31	Precipitación acumulada del día	Entero

*ESTACION*: Representa el número de la estación que registro los datos.

*ANIO*: Representa el año histórico en el que se registró el dato.

*MES*: Representa el número del mes en el que se registró el dato.

La leyenda “valor observado multiplicado por 10” indica que el valor que llega tiene una cifra decimal, pero se almacena como número entero en la base de datos.

*TEMPROM\_D\_1... TEMPROM\_D\_31*: Campos de tipo de dato entero que almacenan la temperatura promedio del día, donde el número después de las letras *TEMPROM\_D\_* representa el día en el que se midió el dato. “Valor observado multiplicado por 10”. El diseño de estos campos permite almacenar valores nulos, esto es para dejar los campos vacíos cuando el mes en cuestión no cumple con el número de días: por ejemplo, febrero no tiene 31 días.

*PRECACUM\_D\_1, PRECACUM\_D\_2, PRECACUM\_D\_3,..., PRECACUM\_D\_31*: Campos de tipo de dato entero que almacenan la precipitación acumulada del día, donde el número después de las letras *PRECACUM\_D\_* representa el día en el que se midió el dato. “Valor observado multiplicado por 10”. Aplica el mismo comentario que para las temperaturas promedio en cuanto a los valores nulos.

### **5.3 Simulación del comportamiento fisiológico de las plagas**

El módulo de simulación del comportamiento fisiológico de las plagas, permite predecir las fechas en las que una plaga cambia de etapa biológica.

La interfaz principal de este módulo solicita la captura de cuatro años análogos al año del momento de la simulación; el método de años análogos identifica patrones oceánicos y atmosféricos de años pasados que tienen similitud con las condiciones del año actual. Los tres fenómenos meteorológicos que determinan un año análogo son: el fenómeno del niño, el fenómeno de la niña o que el año no presente ninguno de los dos fenómenos anteriores.

Los años análogos pueden ser consultados en diferentes fuentes de información. Una de ellas es el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) dependencia de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cual los pone en su página de internet.

La colección de archivos históricos se encuentra segmentada por cada una de las estaciones, donde los años registrados son diferentes en algunos casos, es por esta razón que la interfaz principal solicita cuatro opciones de años análogos, como se observa en la Figura 67.

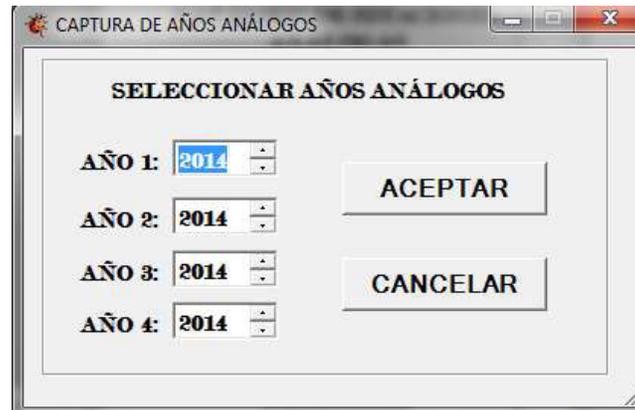


Figura 67.- Selección de años análogos.

En el segundo paso de la simulación, el sistema consulta la tabla *estación\_mes\_analogo*, de donde se obtienen la precipitación acumulada, la temperatura máxima y mínima de los años análogos.

Como se describió anteriormente la información histórica se encuentra almacenada en archivos de texto, que a su vez se encuentran dentro de un directorio identificado con el nombre de la estación que reportó los datos. Por estrategia de manipulación de datos, la información es cargada a la tabla *estación\_mes\_analogo*.

El nombre de los archivos de texto está compuesto por el nombre de la estación seguido de un guion y el número del año correspondiente a la toma de datos. Las columnas de cada registro son *time*, *rain*, *Tmax* y *Tmin*, que representan el número de día juliano del año histórico, la precipitación acumulada, la temperatura máxima y mínima del día.

En cada simulación el sistema consulta si los datos históricos, análogos al año de la simulación se encuentran almacenados en la base de datos; cuando los datos históricos no han sido cargados en la tabla *estacion\_mes\_analogo* el sistema abre el archivo de texto correspondiente al año

análogo de la estación, para extraer los datos e insertarlos en la tabla. La tabla estacion\_mes\_analogo almacena en cada registro los datos de todo un mes registrados por las estaciones históricas; este procedimiento permite dejar los datos de clima históricos en una estructura más fácil y eficiente a la hora de consultarlos.

Como se menciona anteriormente la tabla estacion\_mes\_analogo almacena los valores de precipitación acumulada y la temperatura promedio registrada en el día. La precipitación acumulada es almacenada con la finalidad de poder ser utilizada por otras aplicaciones que lo requieran.

Una vez cargados los datos históricos en la tabla estacion\_mes\_analogo, el sistema despliega una ventana solicitando los parámetros para iniciar la simulación; los parámetros requeridos son: la selección de la plaga que se desea simular, el estadio en el que se encuentra la plaga y la fecha del año en la que se desea iniciar la simulación, como se muestra en la Figura 68.

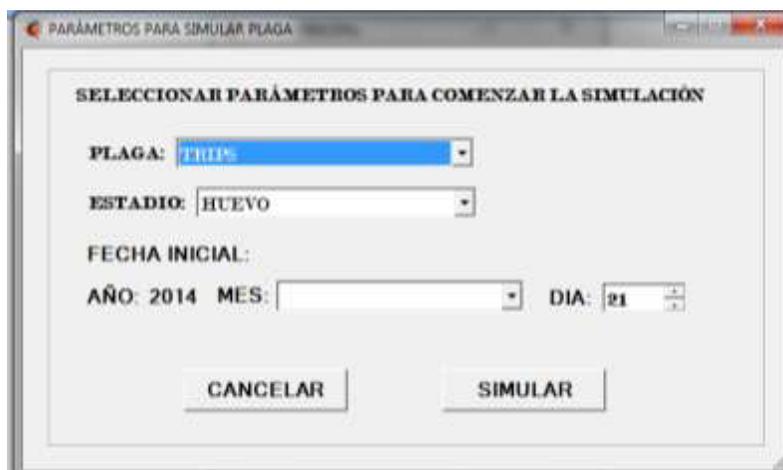


Figura 68.- Parámetros de inicio de simulación.

La opción “simular” permite calcular las posibles fechas en la que una plaga cambia de estadio; la predicción se hace partiendo de la fecha indicada hasta el último día del año en cuestión.

La temperatura es la variable de mayor influencia en el ciclo biológico de los insectos y determina su velocidad de desarrollo (Dent, 2000); en términos fisiológicos un insecto acumula

calor (energía) para desarrollarse, lo cual ha servido para formular el concepto de unidades calor acumuladas (UCA) o grados día (GD); es decir las UCA integran el tiempo y la temperatura acumulada de un estadio a otro o de todo el ciclo biológico del insecto (Urrea y Apablaza, 2005; Soto *et al.*, 1999; Barrientos *et al.*, 1998; Chiang, 1985); este concepto es una herramienta de pronóstico para asistir al manejo integrado de plagas; por lo tanto los mapas de riesgos de insectos plaga se realizan calculando el número de generaciones por año y por estación agroclimática, utilizando las UCA las cuales son únicas para cada especie. Las UCA se calculan con la temperatura registrada desde que el huevo es ovipositado hasta que éste se transforma en adulto y empieza a ovipositar. Para calcular las unidades calor diarias (UCD) se utilizan los datos de temperatura base (Tb), temperatura máxima y mínima, mediante el método de promedios modificados y onda sigmoideal modificada (Robinson, 1996), expresada mediante la siguiente fórmula:

$$UCD = \frac{(TMáxD) + (TMinD)}{2} - \text{temperatura base}$$

Dónde:

UCD = Unidades Calor Diarias

TMáxD = Temperatura Máxima Diaria

TMinD = Temperatura Mínima Diaria

Temperatura base = La temperatura a la que los insectos no mueren pero no pueden completar su ciclo biológico

El resultado de la simulación muestra una tabla que contiene la información generada: el número de la estación histórica, el nombre común de la plaga, el día mes y año en el que se calcula el cambio de estadio, el nombre del nuevo estadio, el número de la generación en el que se encuentra la plaga en esa fecha, el número de unidades calor generadas en el día y el número de unidades calor acumuladas hasta ese día, como se muestra en la Figura 69.

RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DE PLAGAS

ESTACION	NOMBRE COMUN	DA	RES	AÑO	NOMBRE ESTADO	NUM. GENERACION	UNIDADES CALOR. EST. DA	UNIDADES CALOR. ACUM.
17001	TRIPS	1	1	2014	HUEVO	1	70	0
17001	TRIPS	12	1	2014	NINFA 1	1	70	1407
17001	TRIPS	24	1	2014	NINFA 2	1	90	2054
17001	TRIPS	4	2	2014	NINFA 3	1	80	3020
17001	TRIPS	10	2	2014	NINFA 4	1	80	4004
17001	TRIPS	20	2	2014	ADULTO	1	70	5024
17001	TRIPS	4	3	2014	HUEVO	2	100	5540
17001	TRIPS	16	3	2014	NINFA 1	2	80	7040
17001	TRIPS	26	3	2014	NINFA 2	2	100	7854
17001	TRIPS	6	4	2014	NINFA 3	2	80	8807
17001	TRIPS	16	4	2014	NINFA 4	2	80	9711
17001	TRIPS	27	4	2014	ADULTO	2	80	10710
17001	TRIPS	3	5	2014	HUEVO	3	80	11710
17001	TRIPS	14	5	2014	NINFA 1	3	90	12820
17001	TRIPS	20	5	2014	NINFA 2	3	80	13924
17001	TRIPS	8	6	2014	NINFA 3	3	70	15070
17001	TRIPS	17	6	2014	NINFA 4	3	80	16274
17001	TRIPS	20	6	2014	ADULTO	3	80	17520
17001	TRIPS	5	7	2014	HUEVO	4	80	18820
17001	TRIPS	17	7	2014	NINFA 1	4	80	20127
17001	TRIPS	20	7	2014	NINFA 2	4	80	21427
17001	TRIPS	9	8	2014	NINFA 3	4	100	22820
17001	TRIPS	20	8	2014	NINFA 4	4	80	24220
17001	TRIPS	31	8	2014	ADULTO	4	100	25620
17001	TRIPS	5	9	2014	HUEVO	5	80	27020
17001	TRIPS	17	9	2014	NINFA 1	5	80	28420

SALIR

EXPORTAR A EXCEL

Figura 69.- Resultado de la simulación del comportamiento fisiológico de una plaga.

Observe que tiene la opción “EXPORTAR A EXCEL”, que permite exportar la información generada a una hoja de Excel, para diversos estudios y análisis.

## CONCLUSIONES GENERALES

En resumen, se cumplieron todos los objetivos de la investigación. El módulo de Agentes del FLAG se rehízo tomando en cuenta las mejoras y las funciones que faltaban. Se entregó este módulo a Rafael Vega que lo integró al sistema FLAG. Allá se comprobó su correcto funcionamiento y no se encontraron faltantes ni situaciones no contempladas.

El sistema desarrollado permite administrar los datos obtenidos por las estaciones agrometeorológicas; los inserta en una base de datos y los pone a disposición de los usuarios de forma instantánea “en línea”. La automatización reduce de forma considerable el uso de recursos humanos, y el diseño adoptado para la base de datos resulta en una reducción muy significativa del espacio en el disco duro, al igual que la duración de las consultas.

El cálculo oportuno de riesgos de enfermedades fitosanitarias permite a los productores tener mejores rendimientos en sus cultivos, menores costos de producción; teniendo como consecuencia mayores utilidades en sus cosechas. El sistema está totalmente automatizado, con la excepción del registro de productores, parcelas y cultivos, que naturalmente requiere de intervención humana. El envío de mensajes para alertas de riesgos de enfermedades constituye un avance significativo comparado con el servicio proporcionado anteriormente a los productores, puesto que recibían la información (vía mapas) una vez por mes, y en general, relacionada con días anteriores a la recepción del riesgo. En especial, los riesgos se calculan en forma puntual para cada parcela en lugar de agruparlas por región o por una EAM de influencia.

En cuanto a la determinación del comportamiento fisiológico de plagas, se hace del mismo modo que anteriormente, excepto que ahora los procesos son automáticos y no requieren la intervención de personal especializado. En cuanto a la información sobre las plagas, es importante señalar que queda mucho por hacer. En especial, se podrían sustituir los “años análogos” por predicciones de clima basadas en las observaciones recientes, lo que constituiría una mayor aproximación al comportamiento real de las plagas. De modo que este tema puede constituir material para investigación futura.

Otro aspecto de investigación futura es la programación en ambiente web de las consultas propuestas en el presente trabajo. Esta actividad se pospuso dada la extensión de la investigación que se describe en esta tesis. Cabe señalar que ya se ha comenzado este trabajo y que se concluirá en breve, dado que con la versión presente los interesados en obtener información del sistema deben contar con el programa correspondiente (el que permite consultar los datos) instalado en su computadora, o en su defecto, usar un equipo que cuente con dicho programa.

Finalmente, el uso de los modelos vía un servicio FLAG se ha sugerido como una alternativa viable, pero todavía no ha surgido un organismo dispuesto a proporcionar tal servicio. El envío de mensajes puntuales a los productores reemplaza en gran medida el tipo de información que se pudiera ofrecer con el uso de modelos individuales para los productores, pero no lo sustituye en cuanto al potencial que se obtiene a partir de esos modelos.

## BIBLIOGRAFIA

Bauer Mengelberg, J. R. 2010. An Informing Service Based on Models Defined by Its Clients. *Informing Science: the International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 13:87-119.

Bauer Mengelberg, J.R. and Velázquez C, G. D. 2010. *Information in Motion*. Informing Science Press, Santa Rosa, California, USA, volumen 7, pp. 377-392.

Calle, G. J. A. 1996. Reingeniería y seguridad en el ciberespacio. Díaz de Santos. Madrid, España. pp. 253-265.

Chiang, H. 1985. Insects and their Environment. p. 128-161. In: R.E. Pfadt (ed.) *Fundamentals of Applied Entomology*. MacMillan Publishing Company, NY, USA.

Díaz, L. S. A. 2009. Obtención de valores del entorno empresarial de clientes de un servicio de información. Tesis (Maestro en ciencias). Montecillo, Texcoco, Edo. de México, Colegio de Postgraduados. 75 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1967. Informe de la Primera Reunión de Expertos de la FAO en Lucha Integrada Contra las Plagas, Sep. 1967, Roma, Italia.

Guzman-Plazola, R. A., Davis, R. M. and Marois, J. J. 2003. Effects of relative humidity and high temperature on spore germination and development of tomato powdery mildew (*Leveillula taurica*). *Crop Protection* 22: 1157-1168.

Izar, L. J. M. 1998. Elementos de métodos numéricos para Ingeniería. UASLP. San Luis Potosí, México. pp. 84-87.

King, W. T., Madden, L. V., Ellis, M. A., and Wilson, L. L. 1997. Effects of temperature on sporulation and latent period of *Colletotrichum* spp. infecting strawberry fruit. *Plant Dis.* 81:77-84.

Maziero, J. M. N., Maffia, L. A., and Mizubuti, E. S. G. 2009. Effects of temperature on events in the infection cycle of two clonal lineages of *Phytophthora infestans* causing late blight on tomato and potato in Brazil. *Plant Dis.* 93:459-466.

Mifsuf, T. E. 2012. Apache. Ministerio de educación, España. 303 p.

Neufeld, K. N., and Ojiambo, P. S. 2012. Interactive effects of temperature and leaf wetness duration on sporangia germination and infection of cucurbit hosts by *Pseudoperonospora cubensis*. *Plant Dis.* 96:345-353.

Ortiz S. C. A. 1987. Elementos de agrometeorología cuantitativa. Tercera edición. Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Paul, P. A. and Munkvold, G. P. 2005. Influence of temperature and relative humidity on sporulation of *Cercospora zea-maydis* and expansion of gray leaf spot lesions on maize leaves. *Plant Dis.* 89:624-630.

Peña, L. J. 2006. Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio. 2a edición. Club Universitario. Alicante, España. pp. 1-46.

Quijano, C. J. A., López, C. J., Rodríguez, B. L. A., Hernández, Z. M. I. y Palacios, C. V. 2010. Modelos de simulación. pp. 125-146. *In:* (Editores) Plagas del suelo. Mundi-Prensa México.

Ramírez, R. S., Osuna, C. F. J., Bahena, S. G., Bartolo, R. J. C., García, P. F. y Canul, K. J. 2012. Manual del usuario del sistema de alerta fitosanitaria de Morelos. INIFAP, CIRPAS, Campo Experimental Zacatepec. Zacatepec, Morelos, México. Publicación especial No. 52. 26 p.

Robinson J.C. 1996. Bananas and plantains. CAB International, UK. 238 p.

Sánchez, J. and Canton, M. P. 1998. Space Image Processing. CRC Press. Boca Raton, FL, USA. 440 p.

Soto, A., Apablaza, J., Norero, A. y Estay, P. 1999. Requerimientos térmicos de *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) en tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Ciencia e Investigacion Agraria.* 26:37-42.

Ueberhuber, C. W. 1997. Numerical Computation: Methods, Software, and Analysis. Springer. Heidelberg, Alemania. 474 p.

Urra, F. y Apablaza J. 2005. Temperatura base y constante térmica de desarrollo de *Copitarsia decolora* (Lepidoptera: Noctuidae). *Ciencia e Investigación Agraria* 32:19-26.

Velázquez C. G. D. 2009. Alarmas en un servicio que proporciona información oportuna e interpretable a sus clientes. Tesis (Maestro en ciencias). Montecillo, Texcoco, Edo. de México, Colegio de Postgraduados. 72 p.

Zalom, F., P. Goodell, L. Wilson, W. Barnett, and W. Bentley. 1983. Degree-days: the calculation and use of heat unit in pest management. Division of Agricultural and Natural Resources, University of California, Davis, CA, USA, 10 p.

## ANEXOS

Los anexos se encuentran contenidos en el disco compacto que acompaña esta tesis. Se incluye en dicho dispositivo los anexos siguientes:

- Las bases de datos:
  - REALVARIABLESbase
  - CLIMA\_ESTACIONES
  - PLAGAS
  - RIESGO\_ENFERMEDADES
- Ejemplo de archivo con datos de clima en formato CSV.
- Archivo de texto BITACORA\_ERRORES.Agente.
- Archivo plano CLIM.ESTACM.1.vvr, con las mediciones de cada 15' de todo un año, de la estación número "1".
- Archivo de texto 1003-1933.vdf, con información histórica de la estación 1003.
- Los archivos planos, utilizados por el módulo de agentes:
  - ValoresVMR.Agente.vvr
  - ValoresVMR.Flag.vvr
- Los programas ejecutables utilizados por el sistema descrito en esta investigación.