

**CALIBRACIÓN DEL PEPINO Y TOMATE
EN EL MODELO “CROPSYST” PARA LAS
ZONAS II Y III DE LA ESCUELA
AGRICOLA PANAMERICANA,
HONDURAS**

Carlos Onán Mendoza Tovar

Zamorano-Honduras
Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria
Diciembre, 2004

ZAMORANO

**CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN
AGROPECUARIA**

**CALIBRACIÓN DEL PEPINO Y TOMATE
EN EL MODELO “CROPSYST” PARA LAS
ZONAS II Y III DE LA ESCUELA
AGRICOLA PANAMERICANA,
HONDURAS**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado Por:

Carlos Onán Mendoza Tovar

**Honduras:
Diciembre 2004**

Honduras

El autor concede permiso a Zamorano para distribuir y reproducir copias de este trabajo para fines educativos. Para otras personas físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

Carlos Onán Mendoza Tovar

Calibración Del Pepino y Tomate en el Modelo “CROPSYST” Para Las Zonas II y III de la Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Presentado por:

Carlos Onán Mendoza Tovar

Aprobada:

Pablo Emilio Paz, Ph.D.
Asesor Principal

Jorge Iván Restrepo, M.B.A.
Coordinador CCPA.

Carlos H. Díaz-Ambroa, Dr. Ing. Agr.
Asesor

Aurelio Revilla, M.S.A
Decano Académico Interino

Abelino Pitty, Ph.D.
Coordinador de Área Temática

Kenneth Hoadley, D.A.B.
Rector

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso que siempre me acompañó y a la Virgencita que me cuidó a cada paso que daba y a las ánimas benditas que siempre me protegieron.

A mis padres Alejandro Mendoza Garay y Dina Alba Tovar Paz por siempre estar a mi lado apoyándome y por rezar por mí todas las noches.

A mis hermanos que siempre creyeron en mí y me dieron ánimos de seguir adelante.

A mis colegas de la clase GENOMA 2004 siempre unidos conquistaremos el mundo.

A mis amigos que siempre estuvieron abiertos a darme una mano cuando la necesitara.

A todas aquellas bellas personas que me ayudaron durante estos cuatro largos años de mi vida paisitas, personal administrativo, gente que siempre estaba allí para servirnos y ayudarnos.

A mi Alma Mater que me enseñó lo que puedo ser capaz, mis limitaciones y que siempre con trabajo se puede aprender a hacer todo lo que nos proponemos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios que siempre me cargó en sus brazos en los días oscuros.

A mis padres que siempre estaban pendientes de mi bienestar, los sacrificios que tuvieron que hacer para mantenerme en esta mi Alma Mater y por siempre hacerme pensar que cada día puedo ser mejor.

A Alejandro Mendoza Tovar mi hermano que siempre me ayudó a estar fuerte y mantenerme cuando las cosas me salían mal, gracias.

A mi hermanita querida Dinita por ser siempre esa roca inmóvil donde me aferraba en momentos de turbulencia.

A Karina Ávila, Freddy Llive, Silvia P., María Augusta S., Saulo Z., Alberto C., Karen E., la gente de la colonia Hondureña que siempre me acompañó y a todos mis amigos zamoranos que nunca olvido.

A mis Asesores Doctor Pablo Emilio Paz y Doctor Carlos Hernández Díaz-Ambrona por siempre indicarme la dirección correcta para mi trabajo.

A toda esa gente que siempre nos apoyó con un simple “dele duro paisita” que siempre recordaré su ayuda.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

A mis padres por el esfuerzo grande que hicieron para poder darme esta educación.

Al fondo dotal Hondureño.

A la Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras.

RESUMEN

Mendoza Tovar, Carlos Onán. 2004. Calibración del pepino y tomate en el modelo “CropSyst” para las zonas II y III de la Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, El Zamorano, Honduras. 26 p.

Los modelos se utilizan para semejar las situaciones agronómicas de campo por medio de cálculos que permiten estimar distintas variables agronómicas del cultivo simulado. El objetivo general fue evaluar el modelo “CropSyst” versión 3.03.16 creado en Washington State University por Stockle y Nelson en 1991, con los cultivos de pepino y tomate en los suelos y clima de la Escuela Agrícola Panamericana (E.A.P.). Para la calibración se utilizaron los registros de producción que mantiene la unidad de Horticultura en la E.A.P. El desarrollo fenológico de los cultivos fue determinado con base en los Grados Celsius Día. Los parámetros de los cultivos fueron calibrados por prueba y error. Otras variables del cultivo fueron estimados a partir de datos en la literatura. El manejo introducido al programa fue un laboreo convencional, riego automatizado y fertilización nitrogenada. Para los parámetros de suelo se utilizó un suelo tipo para cada Zona de producción. Los datos de clima utilizados fueron obtenidos de los registros tomados por la sección de riegos de la E.A.P. La estación meteorológica donde se obtuvieron los datos está ubicada en Zona I de la E.A.P. Se crearon 320 archivos de simulación. Cada archivo de simulación con un archivo de rotación. Se hizo un experimento el cual fue una simulación con un clima futuro generado. El promedio de los rendimientos observados fueron menores, en ambos suelos, que los rendimientos simulados. Esto se debe a que el programa no toma en cuenta factores como enfermedades ni plagas que reducen hasta 35% de los rendimientos. El comportamiento de la línea de tendencia de los rendimientos en ambos cultivos simulados con ambos suelos fue similar a la línea 1:1, lo que nos indica que los cultivos están calibrados en rendimiento. En fenología, ambos cultivos, tuvieron tendencias similares a la línea 1:1. Los rendimientos simulados con el clima futuro fueron mayores en promedio que los simulados para la calibración y con la línea de tendencia de la fenología de los cultivos levemente sobre la línea 1:1 debido a un clima más frío generado.

Palabras clave: *Cucumis sativus*, *Lycopersicon esculentum*, modelos, simulación.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|-----------|
| Portadilla..... | i |
| Autoría..... | ii |
| Página de firmas..... | iii |
| Dedicatoria..... | iv |
| Agradecimientos..... | v |
| Resumen..... | vii |
| Contenido..... | viii |
| Índice de cuadros..... | ix |
| Índice de figuras..... | x |
| Índice de anexos..... | xi |
| | |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| | |
| 2. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 5 |
| 2.1 Calibración..... | 5 |
| 2.1.1 Pepino..... | 6 |
| 2.1.2 Tomate..... | 7 |
| 2.2 Manejo Simulado..... | 7 |
| 2.3 Suelos..... | 8 |
| 2.3.1 Suelo tipo Zona II..... | 8 |
| 2.3.2 Suelo tipo Zona III..... | 9 |
| 2.4 Clima..... | 9 |
| 2.5 Simulación..... | 11 |
| 2.6 Experimento..... | 11 |
| | |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 12 |
| 3.1 Pepino..... | 12 |
| 3.2 Tomate..... | 14 |
| 3.3 Experimento..... | 15 |
| | |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 18 |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 19 |
| | |
| ANEXOS..... | 22 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Cuadro 1. Grados Celsius acumulados por etapa fenológica..... | 5 |
| Cuadro 2.- Variables del Cultivo del Pepino..... | 6 |
| Cuadro 3.- Variables del Cultivo del Tomate..... | 7 |
| Cuadro 4.- suelo tipo Zona II..... | 8 |
| Cuadro 5.- Características del suelo Zona II..... | 8 |
| Cuadro 6.- Suelo tipo Zona III..... | 9 |
| Cuadro 7.- Características del suelo Zona III..... | 9 |
| Cuadro 8. Rendimientos Promedios Observados versus Simulados del Pepino y Tomate..... | 13 |
| Cuadro 9. Rendimientos Promedios calibrados versus Simulados desde el 2050 a 2079 del Pepino y Tomate..... | 17 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Gráfica de clima promedio del valle Yegüare desde 1989 a 2003..... | 10 |
| Figura 2. Gráfica de clima del valle del Yegüare promedio generado desde 2050 a 2079..... | 10 |
| Figura 3. Gráfica de tendencia de fenología de pepino en la E.A.P..... | 12 |
| Figura 4. Gráfica de comportamiento en rendimiento del pepino para Zona II, Zona III y en general en ambos suelos..... | 14 |
| Figura 5. Gráfica de tendencia de fenología de pepino en la E.A.P..... | 14 |
| Figura 6. Gráfica de comportamiento en rendimiento del tomate para Zona II, Zona III y en general en ambos suelos..... | 15 |
| Figura 7. Gráfica de la fenología de pepino simulado desde 2050 a 2079..... | 15 |
| Figura 8. Gráfica de la fenología de tomate simulado desde 2050 a 2079..... | 16 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Anexo 1. Ventana del Programa CROPSYST..... | 21 |
| Anexo 2. Ventanas del fichero de cultivo en el programa CropSyst..... | 21 |
| Anexo 3. Ventana del fichero de suelo en el programa CropSyst..... | 22 |
| Anexo 4. Ventana del fichero de manejo en el programa CropSyst..... | 22 |
| Anexo 5. Ventana del fichero de localidad en el programa CropSyst..... | 23 |
| Anexo 6. Ventana del fichero de rotación en el programa CropSyst..... | 23 |
| Anexo 7. Ventana del fichero de Simulación en el programa CropSyst..... | 24 |
| Anexo 8. Ventana del fichero “Batch Run” en el programa CropSyst..... | 24 |
| Anexo 9. Ventana del fichero de formato en el programa CropSyst..... | 25 |
| Anexo 10. Ejemplo de datos diarios climatológicos año 1997..... | 26 |

1. INTRODUCCIÓN

Los modelos se utilizan para semejar las diferentes situaciones agronómicas de campo; esto por medio de una serie de cálculos que permiten en cierto modo estimar rendimientos, producción de biomasa, índices de área foliar, y otras variables agronómicas del cultivo simulado. Un modelo de simulación utiliza parámetros de clima, suelo y manejo para poder calcular las variables que deseamos observar.

El modelo es una representación de la realidad. Según Fernández y López-Bellido (1993), los modelos son una representación esquemática de la concepción de un sistema. A consecuencia de los continuos cambios que sufren los sistemas agrícolas a través del tiempo los modelos que los representan están forzados a tener un carácter dinámico.

Muchos de los problemas agrícolas no pueden resolverse experimentalmente mediante manipulación en el sistema por razones de tiempo, costo o por la propia perturbación que genera el observador. Por ejemplo, si fuese necesario destruir una planta para la realización de un muestreo no se podrían completar las pruebas de su evolución temporal (Fernández y López-Bellido 1993).

Los modelos están formados por un conjunto de sub-modelos que se unen para crear una simulación dinámica de un sistema, en nuestro caso de un sistema agrícola. Cada sub-modelo conlleva dentro de sí un área específica de la ciencia necesaria para describir el proceso que se modela y tienen una unión sin afectarse unas a otras. Los sub-modelos se relacionan mediante conexiones de retroalimentación en los cuales los resultados de uno sirven para los cálculos de otros (Fernández y López-Bellido 1993).

Modelos de producción y de crecimiento dinámico han sido desarrollados para un gran número de cultivos con distintos objetivos como: manejo del riego, manejo de nutrientes, manejo de plagas, planeación del uso del suelo, secuencia de cultivos, predicción de rendimiento (Peart y Curry 1998) y efectos del cambio climático (Jones y Thornton 2003).

Se ha incrementado el uso de los modelos de simulación como herramienta de manejo en las explotaciones agrarias. Para mejorar estas explotaciones se estudian los efectos de distintos químicos como fertilizantes, herbicidas y pesticidas además de la toxicidad con aluminio y los efectos del pH (Peart y Curry 1998).

Todos los modelos tienen sus límites ya que estos no incluyen todos los factores que ocurren en la realidad y contienen empirismo que pueden requerir calibración, validación y pruebas para aplicaciones en lugares específicos.

Los modelos de simulación de cultivos, calibrados y validados previamente, permiten el manipuleo de las variables que lo controlan para simular distintas situaciones agronómicas con relativamente pocos recursos y poco tiempo. CropSyst es un modelo que con este sentido puede facilitar una visión más amplia de la producción y más que todo en la investigación agronómica de los sistemas de cultivos.

En los últimos años no se han utilizado en el Zamorano estos modelos; los que serían de gran utilidad en el futuro, añadiendo a los estudios estadísticos de predicción una visión más amplia de distintas situaciones agronómicas actuales y futuras.

El estudio se basa en el modelado de los cultivos de pepino (*Cucumis sativus* L.) y tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con el programa "CROPSYST" (Stockle y Nelson 1991) para Zona II y III de la Escuela Agrícola Panamericana (E.A.P.); tomando en cuenta los parámetros de clima, suelo, riego y fertilización nitrogenada con el fin de evaluar el modelo en las condiciones de Bosque Tropical Seco.

El límite principal del estudio se encuentra en las propias limitantes que tiene el modelo. La información introducida en el programa proviene de fuentes limitadas que no contienen datos de días a floración. También, en la disponibilidad de variedades y datos descriptivos del entorno que no siempre están disponibles. Otro límite que tiene el estudio es no tener la forma de predecir meteoros extremos como son los huracanes y otros similares.

Los modelos y las herramientas de simulación tienen sus méritos y sus deficiencias a los cuales los usuarios se tienen que acoplar. Modelos relativamente complejos y comprensivos siguen estando en la mesa de trabajo por la poca disponibilidad de datos y por la variabilidad de los datos de campo que prohíben su aplicación práctica. Sin embargo, integrando los modelos y las herramientas existentes se ofrecen prospectos prometedores para manejar problemas multifacéticos y multidisciplinarios. Al integrar los diferentes modelos las deficiencias de unos pueden ser compensadas por los méritos de otros. Además, problemas extremadamente complejos, que no se pueden manejar con un solo modelo, pueden ser atacados con un proceso integrado (Stoorvogel 1995).

"CROPSYST" actualmente integra cuatro modelos de simulación. El primero simula el crecimiento del cultivo durante su ciclo de vida y tiene los componentes de clima, cultivo, siembra del cultivo y suelo. Es utilizado primordialmente para probar cultivos, modificaciones de su agronomía u otros aspectos relativos al suelo sin la interacción de otros componentes. El segundo modelo es una expansión del primero y tiene un componente de rotación de cultivo (Van Evert y Campbell 1994).

Esto permite la simulación de más de un ciclo de vida y observar el comportamiento de la interacción de dos cultivos. El tercer modelo de simulación utiliza los componentes de clima, cultivo, siembra de cultivo, rotación de cultivo, suelo, erosión del suelo, laboreo del suelo, y residuos de cultivo. El último modelo tiene por componentes clima, cultivo, siembra de cultivo, suelo, dinámica poblacional de áfidos, inmigración de áfidos y aplicación de insecticidas (Van Evert y Campbell 1994).

La calibración es hacer un ajuste de los parámetros del modelo ya construido para darle una mejor concordancia entre los resultados obtenidos en campo y los resultados simulados. Por otra parte, el modelo ya calibrado debe de ser validado. Para las validaciones de los modelos es necesario un conjunto de datos distintos a los utilizados en la calibración. Es necesario un conjunto de datos acerca del comportamiento fenológico del cultivo, al igual que del manejo que se le dio al cultivo para el cual queremos validar el modelo.

Existen dos niveles de validación. El primero es el nivel de predicción que utiliza los datos obtenidos en campo. El segundo es el nivel de presunción en el cual el modelo es validado a partir de datos tomados de experimentos con ambiente completamente controlado (Peart y Curry 1998).

Al calibrar parámetros de un modelo, el modelador reconoce que la función empírica no necesariamente produce resultados correctos para todas las posibles condiciones. El modelador selecciona la forma de la función empírica tal que produzca resultados que sean lo suficientemente acertados para las condiciones que pueda suceder en la aplicación del modelo (Maas 1993). Esto nos indica que no para todos los rendimientos observados en campo habrá un rendimiento simulado que sea lo más cercano posible. Los modeladores usualmente se basan en la calibración de parámetros cuando el funcionamiento del sistema físico no está adecuadamente entendido o cuando una representación explícita del sistema físico sería demasiado detallada para la complejidad deseada del modelo (Maas 1993).

Un modelo de procesos puede requerir calibración por varias razones: el cultivo a simular puede ser una variedad para la cual nunca se han medido los coeficientes utilizados por el modelo. Este caso requiere el uso de estimaciones a partir de valores medidos para cultivos similares. Desafortunadamente, los parámetros estimados pueden ser imprecisos o incorrectos para el cultivar considerado.

El modelo también puede fallar al predecir el rendimiento de un cultivo que está sujeto a distintos tipos de estrés que no son tomados dentro de él. Ejemplos de esto pueden ser pocos nutrientes o problemas de manejo como puede ser el uso inapropiado de herbicida que daña el cultivo.

También el rendimiento predicho puede reflejar errores desconocidos en los valores iniciales de los parámetros que caracterizan la variación genética del cultivar o en los datos de suelo o clima que se introducen en el modelo (Kenig 1993).

Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

El tomate es una planta perenne; en condiciones favorables, puede vivir y fructificar varios años, pero su cultivo, por las condiciones ambientales y su importancia práctica, es anual. El sistema de raíces está bien desarrollado y fuertemente extendido, algunas alcanzan hasta 150 cm. La mayor parte de las raíces se encuentran situadas en la capa del suelo entre 50 y 70 cm de profundidad (Castillo 1991).

Según su hábito de crecimiento, las variedades de tomate pueden ser determinadas o indeterminadas. Las variedades de hábito determinado son de tipo arbustivo, de porte bajo, compactas y su producción de fruto se concentra en un periodo relativamente corto, las plantas crecen, florecen y fructifican en etapas bien definidas; poseen inflorescencias apicales. Las variedades de hábito indeterminado tienen inflorescencias laterales y su crecimiento vegetativo es continuo. La floración y cosecha se extienden por periodos muy largos (Castillo 1991).

El desarrollo fenológico del tomate determinado bajo condiciones de trópico seco centroamericano es de siembra a germinación completa de 20 a 25 días, desarrollo vegetativo de 30 a 35 días, de 20 a 25 días floración, de fructificación a fruto maduro 40 días (Castillo 1991).

Pepino (*Cucumis sativus* L.)

El pepino es una planta originaria del Asia. Necesita un clima cálido y no resiste excesos de humedad ambiental con una temperatura óptima que varía entre los 18-25 °C. Este cultivo tiene un ciclo de vida anual y es una planta de tipo monoica. Tiene un largo de rama entre 1.00 y 1.50 m con un ancho que varía entre 0.50 y 1.00 m (Montes 1993).

Se producen de dos tipos: de consumo en fresco y par encurtido. Este cultivo tiene un pH óptimo entre los valores de 5.5 y 6.8 (Montes 1993). La siembra del pepino se puede realizar durante todo el año, aunque la época más apropiada es durante la estación seca, pues hay menor incidencia de enfermedades y menos pérdidas debido a humedad.

Este estudio tuvo como objetivo general evaluar el modelo "CROPSYST" con los cultivos de pepino y tomate en los suelos y clima de la E.A.P. y como objetivos específicos ajustar y calibrar los parámetros del modelo con los datos obtenidos de la información de cultivos, suelos, clima, manejo y otras variables que requiere el modelo para hacer las simulaciones y una aplicación experimental a escala del modelo de la producción de pepino y tomate con un clima futuro generado.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó el programa de modelación “CROPSYST” versión 3.03.16 creado en Washington State University por Stockle y Nelson 1991 para simular la producción de pepino y tomate en Zona II y III de la E.A.P. Este programa fue calibrado para las zonas de Zamorano comparando la grafica de valores observados versus simulados contra la línea 1:1 que indica que el número simulado es exactamente el mismo número de rendimiento observado.

2.1 CALIBRACIÓN

Para la calibración se utilizaron los registros de producción que mantiene la unidad de Horticultura en la E.A.P. La calibración del desarrollo fenológico de los cultivos fue determinada con base en los Grados Celsius Día (GCD). Los GCD fueron calculados con la siguiente formula:

$$GCD = \Sigma(((t^{\circ}\text{max} + t^{\circ}\text{min})/2) - t^{\circ}\text{base})$$

Donde: $t^{\circ}\text{max}$ = temperatura máxima diaria
 $t^{\circ}\text{min}$ = temperatura mínima diaria
 $t^{\circ}\text{base}$ = temperatura promedio donde bajo de ella no hay desarrollo.

La temperatura base que se tomó fue de 12 °C esta es una temperatura estimada. Los GCD son acumulativos cada día que pasa se acumulan estas unidades para alcanzar la cantidad que requieren para cambiar de etapa fenológica. Cada etapa fenológica esta determinada por cierta cantidad de GCD que varía según cada cultivo.

Cuadro 1. Grados Celsius acumulados por etapa fenológica

| Etapa fenológica | Cultivo | | | |
|----------------------------|---------|-----------------|--------|-----|
| | Pepino | | Tomate | |
| | Días | °C ^β | Días | °C |
| Días de transplante | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Días a floración | 25-30 | 251 | 43-62 | 321 |
| Días a madurez fisiológica | ---- | ---- | 90-120 | 865 |

β Grados Celsius acumulados en los días de cada etapa

---- Se cosecha antes de madurez

La calibración de los parámetros de los cultivos fue por medio de prueba y error en el caso de eficiencia del uso del agua y la eficiencia del uso de la radiación hasta que produjeran rendimientos similares a los valores extremos observados. Otras variables del cultivo fueron estimados a partir de datos en literatura; sin embargo se manejaron ambos cultivos como productores de grano por falta del una etapa de llenado de fruto en el programa.

2.1.1 Pepino

El cultivo del pepino fue calibrado con 97 datos de rendimiento obtenidos entre 1997 y 2003 en el suelo tipo de Zona II. El cultivo fue calibrado en primer lugar para alcanzar los datos máximos y mínimos observados en los datos. En Zona III se utilizaron 100 datos de rendimiento obtenidos entre las mismas fechas anteriores. La calibración fue realizada para que el conjunto en ambos suelos la tendencia fuese similar a la línea 1:1 (línea obtenida cuando lo simulado fuese igual a lo observado).

Cuadro 2.- Variables del Cultivo del Pepino

| Descripción | Valor | Unidad | método |
|---|-------|-------------------|----------------|
| Tipo de planta | C3 | sin unidad | predeterminado |
| Temperatura base | 12 | °C | estimado |
| Temperatura de corte ^δ | 38 | °C | estimado |
| °CD a emergencia | 1 | °C | calibrado |
| °CD a floración | 251 | °C | calibrado |
| °CD a máximo de índice de área foliar | 251 | °C | calibrado |
| °CD a llenado de grano | 305 | °C | calibrado |
| °CD a madurez fisiológica | 1000 | °C | calibrado |
| Temperatura óptima de crecimiento | 24 | °C | estimado |
| Altura de planta | 1.5 | m | estimado |
| Absorción máxima de agua | 20 | mm/día | calibrado |
| Índice de área foliar máxima | 5 | sin unidad | predeterminado |
| Área foliar inicial | 0.011 | sin unidad | predeterminado |
| Área foliar específica | 25 | sin unidad | estimado |
| Partición hoja tallo | 3 | sin unidad | predeterminado |
| Eficiencia del uso del agua | 55 | kg/m ³ | calibrado |
| Eficiencia del uso de la radiación | 0.04 | g/MJ | calibrado |
| Potencial del agua para cierre de estomas | -800 | -J/kg | estimado |
| Potencial de agua para marchitez | -2000 | -J/kg | estimado |

^δTemperatura promedio a la cual crecimiento se detiene

La temperatura óptima de crecimiento del pepino es de 24° Celsius¹. El tamaño de una planta de pepino es de 1-1.5 m de altura y de 0.50-1.00 m de ancho (Montes 1993). El potencial de agua para cierre de estomas para cultivos varían entre -670 a -2000 que nos indica la cantidad de energía perdida por falta de agua para el cierre de los estomas; siendo el primero más susceptible al estrés por agua que el segundo. El potencial de agua para marchitez tiene un rango desde -1000 hasta -3000 siendo el primero más susceptible (Stöckle y Nelson 1991).

¹Miselem J.M. 2004. Comunicación personal. Curso de cultivos hortícolas y Ornamentales.

2.1.2 Tomate

El cultivo del tomate fue calibrado con 61 datos de rendimiento obtenidos entre 1997 y 2000. Este cultivo fue calibrado para que simulara lo más cercano posible a los valores máximo y mínimo de rendimiento observado en este periodo; para el suelo tipo de Zona II. La calibración en Zona III fue hecha con 62 datos de rendimiento obtenidos entre las mismas fechas anteriores. La calibración fue realizada para que el conjunto en ambos suelos la tendencia fuese similar a la línea 1:1.

Cuadro 3.- Variables del Cultivo del Tomate

| Descripción | Valor | Unidad | método |
|---|-------|-------------------|----------------|
| Tipo de planta | C3 | sin unidad | predeterminado |
| Temperatura base | 12 | °C | estimado |
| Temperatura de corte ^o | 38 | °C | estimado |
| °CD a emergencia | 1 | °C | calibrado |
| °CD a floración | 321 | °C | calibrado |
| °CD a máximo de índice de área foliar | 321 | °C | calibrado |
| °CD a llenado de grano | 452 | °C | calibrado |
| °CD a madurez fisiológica | 865 | °C | calibrado |
| Temperatura óptima de crecimiento | 21 | °C | estimado |
| Altura de planta | 1.4 | m | estimado |
| Absorción máxima de agua | 20 | mm/día | calibrado |
| Índice de área foliar máxima | 5 | sin unidad | predeterminado |
| Área foliar inicial | 0.255 | sin unidad | estimado |
| Área foliar específica | 20 | sin unidad | estimado |
| Partición hoja tallo | 9 | sin unidad | estimado |
| Eficiencia del uso del agua | 21 | kg/m ³ | calibrado |
| eficiencia del uso de la radiación | 0.01 | g/MJ | calibrado |
| potencial del agua para cierre de estomas | -930 | -J/kg | estimado |
| potencial de agua para marchitez | -1000 | -J/kg | estimado |

^oTemperatura promedio a la cual crecimiento se detiene

2.2 Manejo simulado

El manejo para el pepino fue un laboreo convencional, un pase de maquinaria primaria cinco días antes de siembra; un pase de rastra secundaria tres días antes de siembra y una sembradora estándar el día de trasplante para simular transplante. La fertilización utilizada en el pepino simulado, por falta de registros por ciclo, fue de 370 kg de nitrógeno/ha (Madrid Obando 2003). Se dividió en cuatro aplicaciones de nitrógeno; 38% a la siembra, 32% a los 22 días de emergencia 15% y 15% a los 45 y 60 días después de emergencia respectivamente.

El riego fue automatizado permitiendo un gasto de 50% del agua entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente con un máximo de aplicación de 15 mm de agua sin salinidad. La cosecha fue realizada 20 días después de llenado de grano ya que se cosecha antes de llegar a madurez fisiológica.

El manejo del tomate fue un laboreo convencional, un pase de maquinaria primaria, un pase de rastra secundaria y una sembradora estándar. La fertilización fue de 550 kg de nitrógeno/ha. Se dividió en tres aplicaciones: 46% a la siembra, 36% 22 días después de emergencia y 18% 45 días después de emergencia.

El riego fue automatizado permitiendo un gasto de 50% de agua entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente con un máximo de aplicación de 15 mm de agua sin salinidad. La cosecha fue realizada dos días después de madurez fisiológica.

2.3 Suelos

2.3.1 Zona II

Para los parámetros de suelo se utilizó un suelo tipo para cada una de las zonas proyecto de estudio. Para Zona II se utilizó el trabajo realizado por Luis Gerardo de Jesús Carvajal (2003).

Cuadro 4.- suelo tipo Zona II

| Variable | valor | unidad | método |
|------------------------------------|-------|------------|----------------|
| Pendiente | 2 | % | estimado |
| Distancia | 20 | m | estimado |
| Capacidad de intercambio catiónico | 25.5 | meq | predeterminado |
| pH | 6.73 | sin unidad | estimado |
| Profundidad de lavado ^β | 2 | m | estimado |
| Grupo Hidrológico | D | sin unidad | estimado |
| Condición Hidrológica | Pobre | sin unidad | estimado |
| Arena general | 43 | % | estimado |
| Arcilla general | 28 | % | estimado |
| Limo general | 29 | % | estimado |
| Número de horizontes ^δ | 4 | sin unidad | estimado |

^β Profundidad hasta donde se mide el lavado de Nitrógeno

^δ Se agrega un Horizonte de 10cm restandole al primer horizonte descrito.

El grupo de suelo hidrológico D tiene alta potencial de escorrentía, una infiltración lenta cuando está húmedo debido a la presencia de arcillas o suelo poco profundo con una capa impermeable. Una condición Hidrológica pobre indica un bajo movimiento del agua dentro del suelo (Stöckle y Nelson 1991).

Cuadro 5.- Características del suelo Zona II

| Horizonte | Profundidad (m) | Densidad aparente (g/cm ³) | Marchitez permanente (m ³ /m ³) [#] | Capacidad de campo (m ³ /m ³) | Arena (%) | Arcilla (%) | Limo (%) |
|-----------|-----------------|--|---|--|-----------|-------------|----------|
| 1 | 0.10 | 1.363 | 0.161 | 0.284 | 43 | 28 | 29 |
| 2 | 0.10 | 1.363 | 0.161 | 0.284 | 43 | 28 | 29 |
| 3 | 0.19 | 1.334 | 0.213 | 0.309 | 53 | 39 | 8 |
| 4 | 0.19 | 1.542 | 0.089 | 0.228 | 49 | 9 | 42 |

Metros Cúbicos de Agua sobre Metros Cúbicos de Suelo

2.3.2 Zona III

El suelo tipo para Zona III se describió con base en un trabajo de campo realizado por Audate *et al.*(2004), en el curso de Manejo de Suelos y nutrición vegetal asesorados por el doctor Carlos Gauggel.

Cuadro 6.- Suelo tipo Zona III

| Variable | valor | unidad | método |
|------------------------------------|----------|------------|----------------|
| Pendiente | 2 | % | estimado |
| Distancia | 20 | m | estimado |
| Capacidad de intercambio catiónico | 25.5 | meq | predeterminado |
| pH | 6.87 | sin unidad | estimado |
| Pofundidad de lavado | 2 | m | estimado |
| Grupo Hidrológico | D | sin unidad | estimado |
| Condición Hidrológica | Moderado | sin unidad | estimado |
| Arena general | 29 | % | estimado |
| Arcilla general | 38 | % | estimado |
| Limo general | 33 | % | estimado |
| Número de horizontes | 6 | sin unidad | estimado |

El Suelo de Zona III pertenece al grupo Hidrológico D, pero con una condición Hidrológica moderada que indica movimiento de agua en el suelo moderado (Stöckle y Nelson 1991).

Cuadro 7.- Características del suelo Zona III

| Horizonte | Profundidad (m) | Densidad aparente (g/cm ³) | Marchitez permanente (m ³ /m ³) | Capacidad de campo (m ³ /m ³) | Arena (%) | Arcilla (%) | Limo (%) |
|-----------|-----------------|--|--|--|-----------|-------------|----------|
| 1 | 0.10 | 1.292 | 0.211 | 0.352 | 29 | 38 | 33 |
| 2 | 0.02 | 1.292 | 0.211 | 0.352 | 29 | 38 | 33 |
| 3 | 0.10 | 1.381 | 0.137 | 0.277 | 37 | 23 | 40 |
| 4 | 0.24 | 1.337 | 0.158 | 0.308 | 29 | 28 | 43 |
| 5 | 0.25 | 1.333 | 0.163 | 0.311 | 30 | 29 | 41 |
| 6 | 0.20 | 1.333 | 0.163 | 0.311 | 30 | 29 | 41 |

2.4 Clima

Para la calibración los datos de clima utilizados fueron obtenidos de los registros tomados por la sección de riegos de la E.A.P. La estación meteorológica de donde se obtuvieron los datos está ubicada en Zona I de la E.A.P. ubicado en las coordenadas 14 °N y 88 °O; entre Zona II y III que son las descritas. Se utilizaron datos para los años respectivos de los datos de rendimientos obtenidos. Se tomaron los datos diarios necesarios para el programa: precipitación, temperatura máxima y mínima; la radiación solar se puede introducir en el programa aunque este lo puede estimar a partir de la precipitación y temperatura (figura 1).

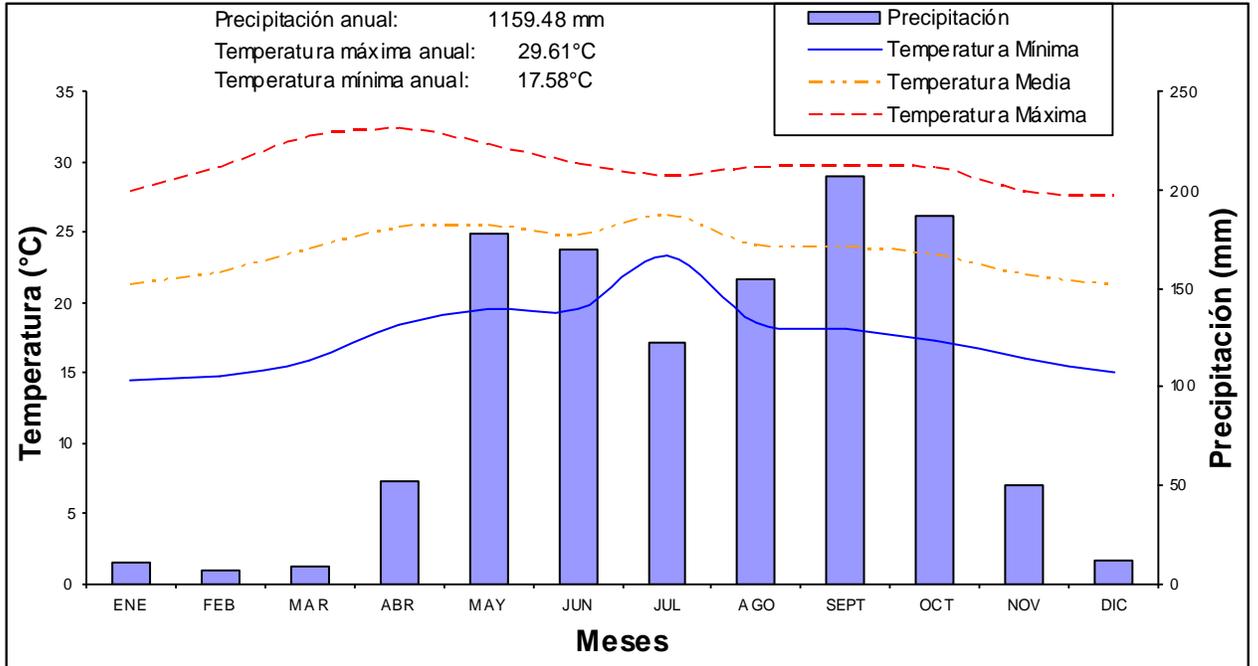


Figura 1. Gráfica de clima promedio del valle Yegüare desde 1989 a 2003.

Se utilizó un clima futuro generado con ClimGen (Stöckle y Nelson 1991) por Gigena (2004) para la simulación de ciclos durante 30 años a futuro. La simulación de cada cultivo con cada suelo como experimento de predicción de la producción en campo. Este clima resultó ser un poco mas frío que el observado (figura 2).

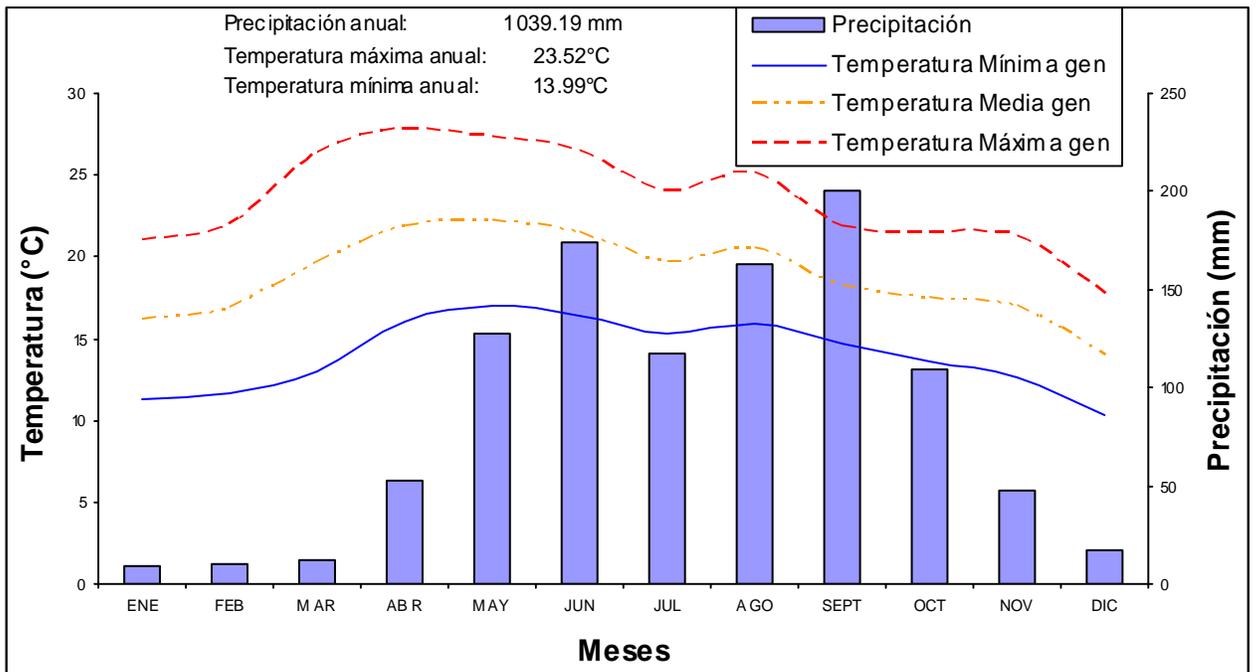


Figura 2. Gráfica de clima del valle del Yegüare promedio generado desde 2050 a 2079

2.5 Simulación

Se crearon 197 archivos de simulación para el cultivo del pepino y 123 archivos para el cultivo del tomate. Cada archivo de simulación con un archivo de rotación que especificaba exactamente cuando se transplantaba el cultivo. Los archivos de simulación fueron compilados en un archivo “batch run” (archivo que permite una simulación corrida de los archivos de simulación sin intervención del usuario) para ser simulados simultáneamente; dos archivos “batch run” por cultivo para cada suelo tipo. Se utilizó el mismo manejo para todos los años simulados. Con la misma cantidad de fertilización en cada caso.

2.6 Experimento

Se hizo un experimento el cual fue una simulación con un clima futuro generado (Gigena 2004), para ambos suelos Zona II y III. Para este experimento se crearon cuatro archivos de simulación. Dos para cada suelo de cada cultivo para simular los años desde 2050 a 2079. El archivo de rotación utilizado fue con dos ciclos por año de cada cultivo de rotando pepino con pepino y tomate con tomate respectivamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El promedio de los rendimientos observados fueron menores en ambos suelos que los rendimientos simulados (cuadro 8). Esto se debe a que el programa no toma en cuenta otros factores como son enfermedades y plagas que afectan ambos cultivos en campo. Las pérdidas promedio de rendimiento a escala mundial por plagas, malezas y enfermedades es de 35%. El porcentaje menor que tiene el observado del simulado fue para el rendimiento promedio del pepino de Zona II y III de 25.85% y 32.81% respectivamente; y para el tomate en Zona II y III de 14.35% y 43.18% respectivamente. Con excepción de este último los demás están dentro de lo normal considerando las pérdidas por pestes.

3.1 Pepino

La línea de tendencia del cultivo del pepino se comportó, en su fenología simulada, similar a la línea 1:1; se colocó la fecha de cosecha de este cultivo pues se cosecha antes de llegar a madurez fisiológica. Para la comparación se utilizaron los días que se encontraba en la literatura (Figura 3).

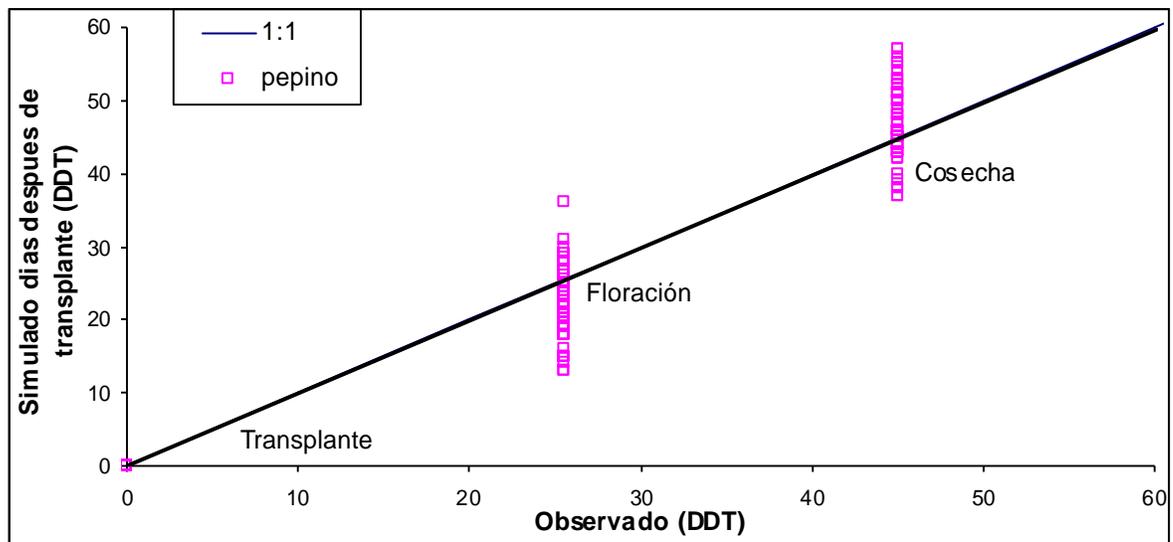


Figura 3. Gráfica de tendencia de fenología de pepino en la E.A.P.

Cuadro 8. Rendimientos Promedios Observados versus Simulados del Pepino y Tomate

| Cultivo | Suelo | Rendimiento (kg/ha) | | Rendimiento Máx (kg/ha) | | Rendimiento Mín (kg/ha) | | Desviación Estandar | |
|---------|----------|------------------------|----------|----------------------------|----------|----------------------------|----------|---------------------|----------|
| | | Observado | Simulado | Observado | Simulado | Observado | Simulado | Observado | Simulado |
| Pepino | Zona II | 23910 | 32247 | 78821 | 47218 | 3535 | 4423 | 11040 | 7334 |
| | Zona III | 22120 | 32921 | 119271 | 52390 | 1431 | 7049 | 18006 | 6533 |
| Tomate | Zona II | 21225 | 24781 | 59365 | 38690 | 3394 | 3638 | 11873 | 5468 |
| | Zona III | 15373 | 27059 | 51711 | 32612 | 1660 | 8041 | 12044 | 3777 |

Los datos simulados para el suelo tipo para la Zona II tienen una tendencia que está por encima de la línea 1:1; la línea de tendencia para el suelo tipo de Zona III resultó por debajo de la línea 1:1. Al comparar el comportamiento en general del pepino en ambos suelos la línea de tendencia que se observa es similar a la línea 1:1 lo que nos indica que el cultivo está calibrado en comportamiento (Figura 4).

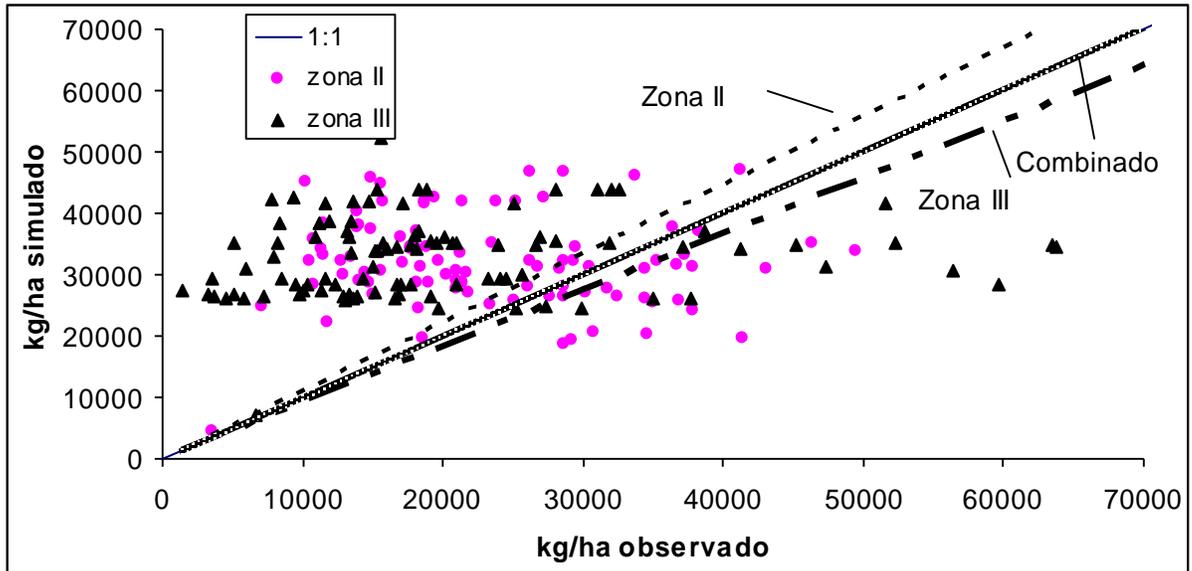


Figura 4. Gráfica de comportamiento en rendimiento del pepino para Zona II, Zona III y en general en ambos suelos.

3.2 Tomate:

La línea de tendencia de la fenología del tomate fue similar a la línea 1:1; aunque existió siempre la limitante de no tener fechas de emergencia, floración y madurez fisiológica de cada ciclo (figura 5).

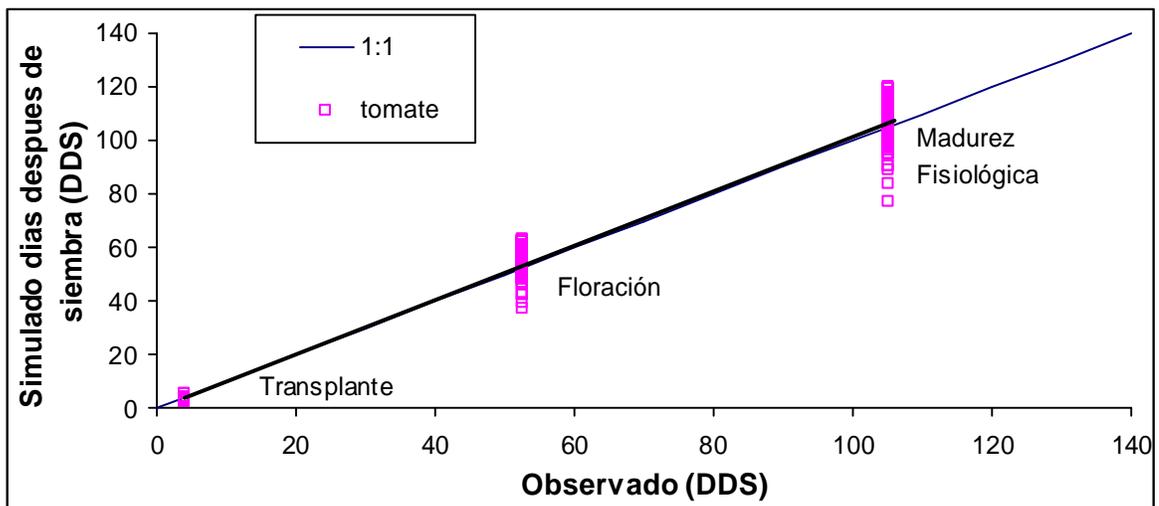


Figura 5. Gráfica de tendencia de fenología de pepino en la E.A.P.

Los datos simulados para el suelo tipo para la Zona III tiene una tendencia que esta por encima de la línea 1:1; la línea de tendencia para el suelo tipo de Zona II resulto por debajo de la línea 1:1. Al comparar el comportamiento en general del tomate en ambos suelos, la línea de tendencia que se observa similar a la línea 1:1 lo que nos indica que el cultivo esta calibrado en lo que a rendimiento respecta (Figura 6).

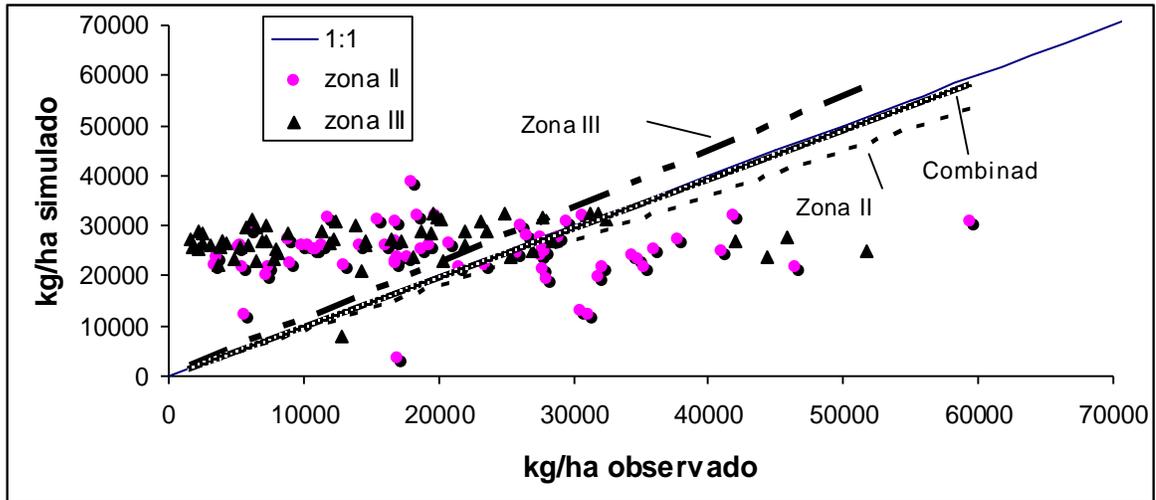


Figura 6. Gráfica de comportamiento en rendimiento del tomate para Zona II, Zona III y en general en ambos suelos.

3.3 Experimento:

Los rendimientos simulados del pepino para los años 2050-2079 fueron mayores que los calibrados y se observó que existe menor variabilidad entre los rendimientos simulados que los rendimientos calibrados para el pepino si se observa la desviación estándar de cada cultivo (cuadro 9). Esta variabilidad puede que se deba al clima generado; el clima generado es más frío que el clima real por lo tanto el cálculo de los GCD causa un ligero aumento en los días de cada etapa fenológica (figura 7).

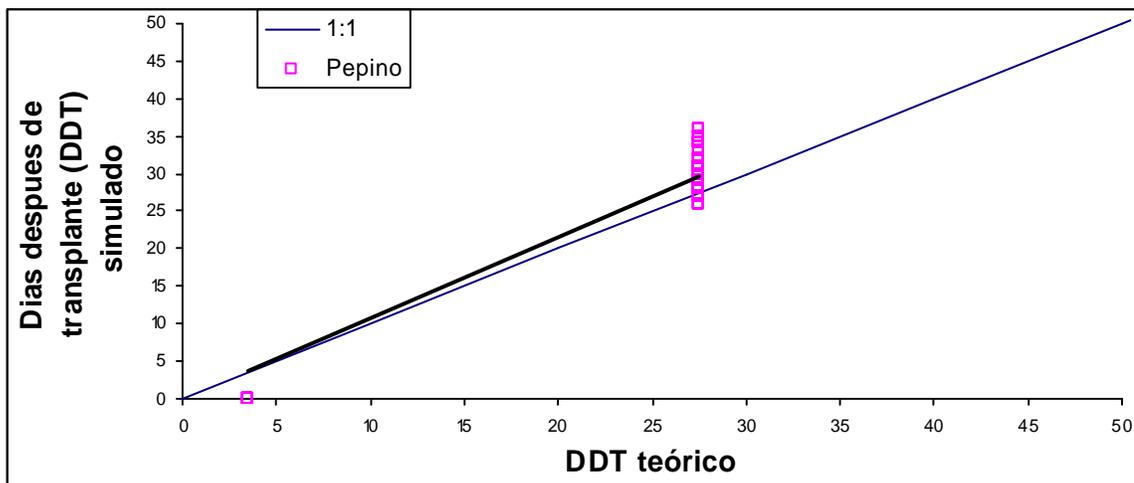


Figura 7. Gráfica de la fenología de pepino simulado desde 2050 a 2079.

Los rendimientos simulados del tomate para los años 2050 a 2079 son significativamente más altos que los calibrados y se observó que las desviaciones estándar fueron más bajas en los rendimientos simulados que los calibrados (cuadro 9). La variabilidad puede ser también debida al clima más frío.

La fenología del tomate simulada para la proyección de clima futuro sufre un retraso respecto al actual debido a que el clima generado más frío (Figura 8).

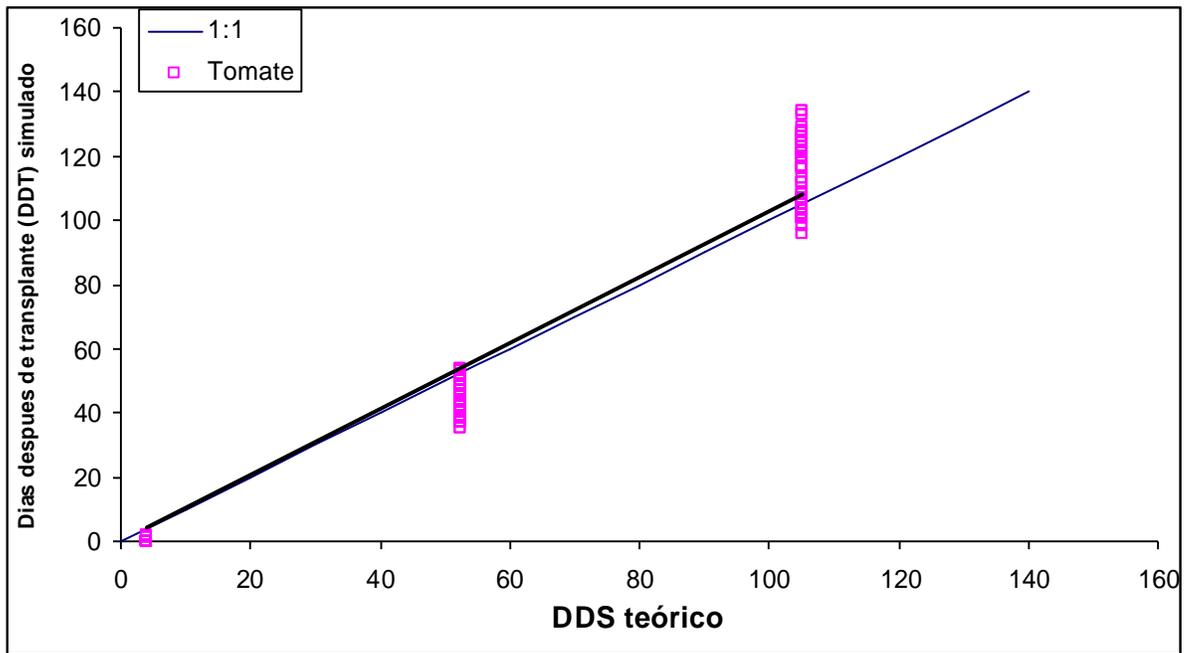


Figura 8. Gráfica de la fenología de tomate simulado desde 2050 a 2079.

Cuadro 9. Rendimientos Promedios calibrados versus Simulados desde el 2050 a 2079 del Pepino y Tomate

| Cultivo | Suelo | Rendimiento (kg/ha) | | Rendimiento Máx (kg/ha) | | Rendimiento Mín (kg/ha) | | Desviación Estándar | |
|---------|----------|------------------------|----------|----------------------------|----------|----------------------------|----------|------------------------|----------|
| | | Calibrado | Simulado | Calibrado | Simulado | Calibrado | Simulado | Calibrado | Simulado |
| Pepino | Zona II | 32247 | 38953 | 47218 | 44083 | 4423 | 32578 | 7334 | 2671 |
| | Zona III | 32921 | 37959 | 52390 | 42802 | 7049 | 33183 | 6533 | 2192 |
| Tomate | Zona II | 24781 | 38069 | 38690 | 41479 | 3638 | 35851 | 5468 | 1068 |
| | Zona III | 27059 | 37165 | 32612 | 39488 | 8042 | 35115 | 3778 | 814 |

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El programa “CROPSYST” es aplicable para los cultivos hortícolas sin embargo se recomienda un mejoramiento en el mismo para agregar una etapa que es el llenado de fruto.

Los cultivos de tomate y pepino han sido calibrados para Zona II y Zona III en condiciones de campo. Se recomienda seguir el estudio con los cultivos ya calibrados para los macrotúneles en Zona III y con sustrato.

Se concluyó que ambos cultivos mejorarían sus rendimientos si el clima a futuro fuera más frío que el actual según los datos del experimento realizado entre los años 2050 a 2079. Sin embargo no se tomó en cuenta el calentamiento global lo que haría que se acelere la fenología del cultivo.

Hacer una validación de los cultivos ya calibrados en campo.

5. BIBLIOGRAFÍA

Audate, C.; Huaman, F.; Morán, R.; Revelo, X.; Roca, J. 2004. Programa de fertilización para lechuga romana. (Trabajo de curso de manejo de suelos y nutrientes. Carlos Gauggel). Valle del Yegüare, Honduras. 19 p.

Castillo R. 1991. Cultivo de Tomate Industrial. Editor: Luis A Troetsch. Panamá. Ministerio de desarrollo agropecuario. 37p.

De Jesús Carvajal, L. G. 2003. Determinación de biodisponibilidad de nutrientes en tres cultivos hortícolas bajo condiciones de campo en zamorano. (Tesis). Valle del Yegüare, Honduras. 29 p.

Fernández, E. J. y López-Bellido, L. 1993. Modelos de Simulación en Cultivos Herbáceos, Madrid España. 262 p.

Gigena R. 2004. Efecto del cambio climático en la producción de granos básicos por productores de subsistencia en Honduras. (Tesis). Valle del Yegüare, Honduras.

Jones, P. G. y Thornton, P. K. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global environmental change* 13, 51-59.

Kenig A. 1993. Agro-climatology and Modeling: Development of soybean fresh and dry weight relationship for real time model calibration. *Agronomy Journal*. Estados Unidos de Norte America. TEEAL 1 CD. 8mm.

Maas, S. 1993. Parameterized model of gramineous crop growth: leaf area and dry mass simulation. *Agronomy Journal*. Estados Unidos de Norte América. TEEAL 1 CD. 8mm.

Madrid Obando K. P. 2003. Estudio agro-económico del vernalizado y tres niveles de fertilización en el rendimiento de pepino en El Zamorano, Honduras. (Tesis). Valle del Yegüare, Honduras. 37 p.

Montes A. 1993. Cultivo de Hortalizas Guía practica Escuela Agrícola Panamericana, Valle del Yegüare, Honduras. 81 p.

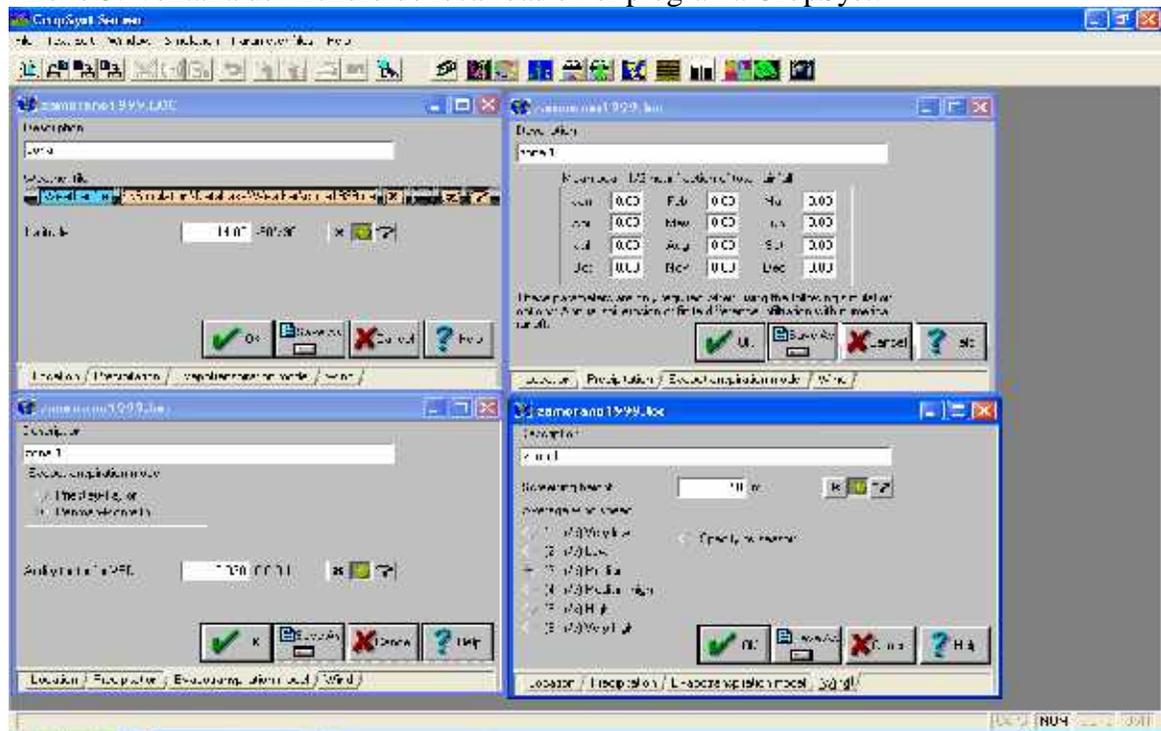
Peart, R. M. y Curry, R. B. 1998. *Agricultural Systems Modeling and Simulations*. USA. 696 p.

Stöckle C. y Nelson R. 1991. User's Manual for Cropping System Simulation Model (CROPSYST). Washington State University E.E.U.U. p.186.

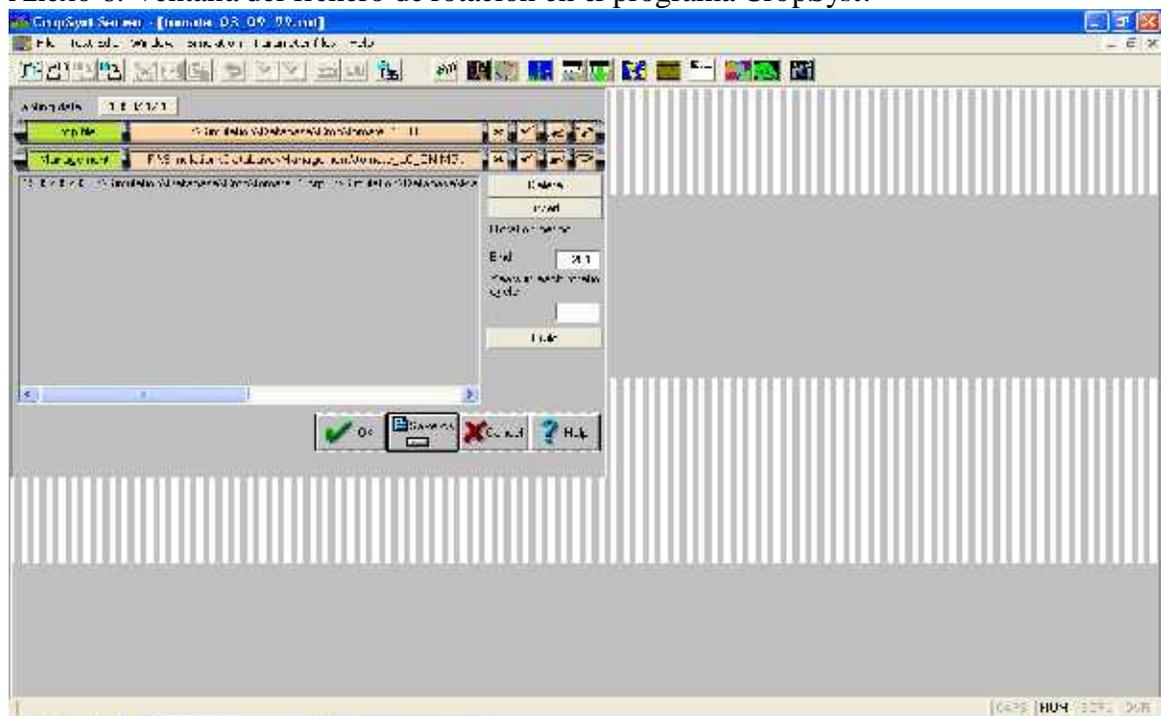
Stoorvogel, J. 1995. Agricultural Systems: Integration of computer –based models and tools to evaluate alternative land-use scenarios as part of an agricultural systems analysis. Elsevier Science Limited. Gran Bretaña. TEEAL 1 CD. 8mm.

Van Evert, F. Campbell G. 1994. CropSyst: A collection of object-oriented simulation models of agricultural systems. Agronomy Journal. Estados Unidos de Norte América. TEEAL 1 CD. 8mm.

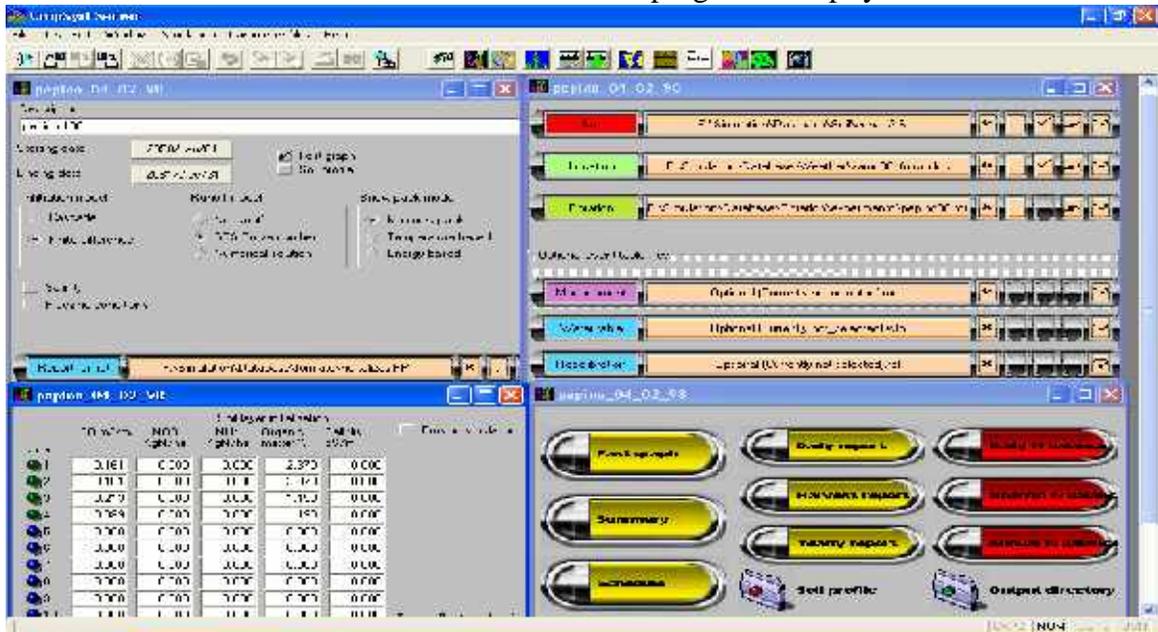
Anexo 5. Ventana del fichero de localidad en el programa CropSys.



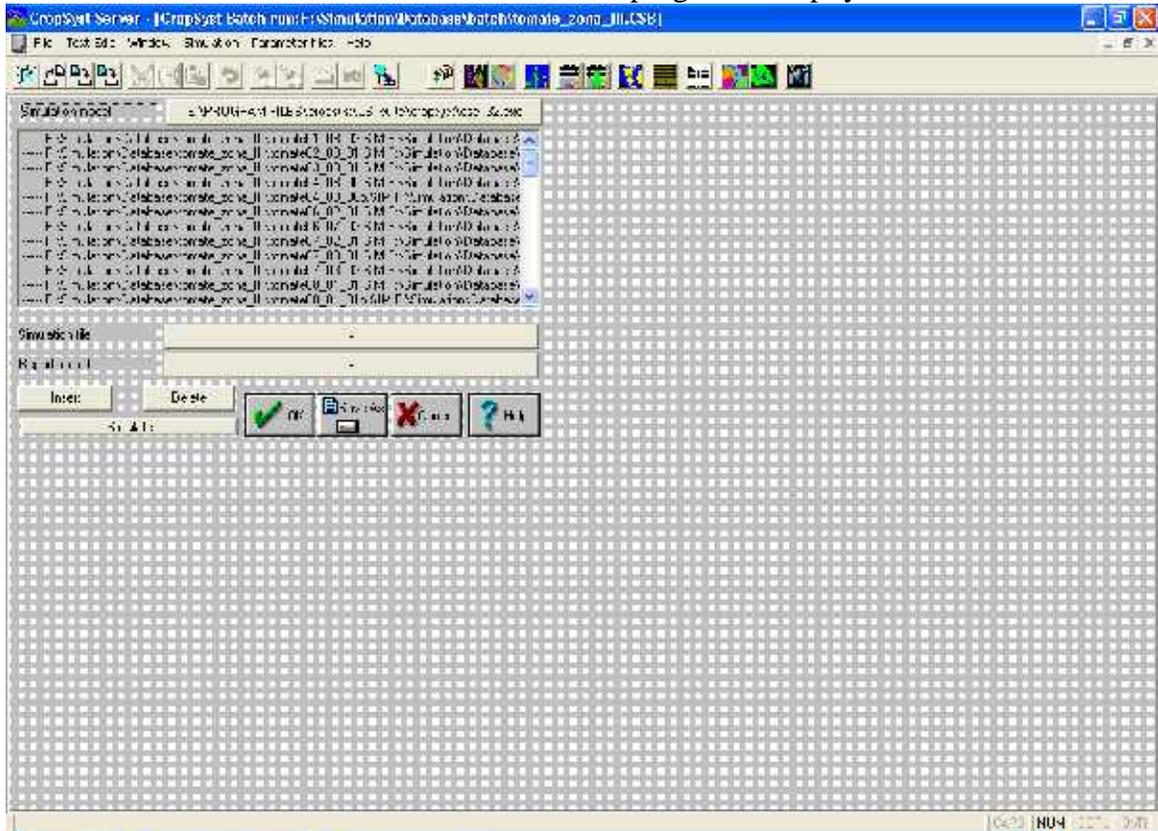
Anexo 6. Ventana del fichero de rotación en el programa CropSys.



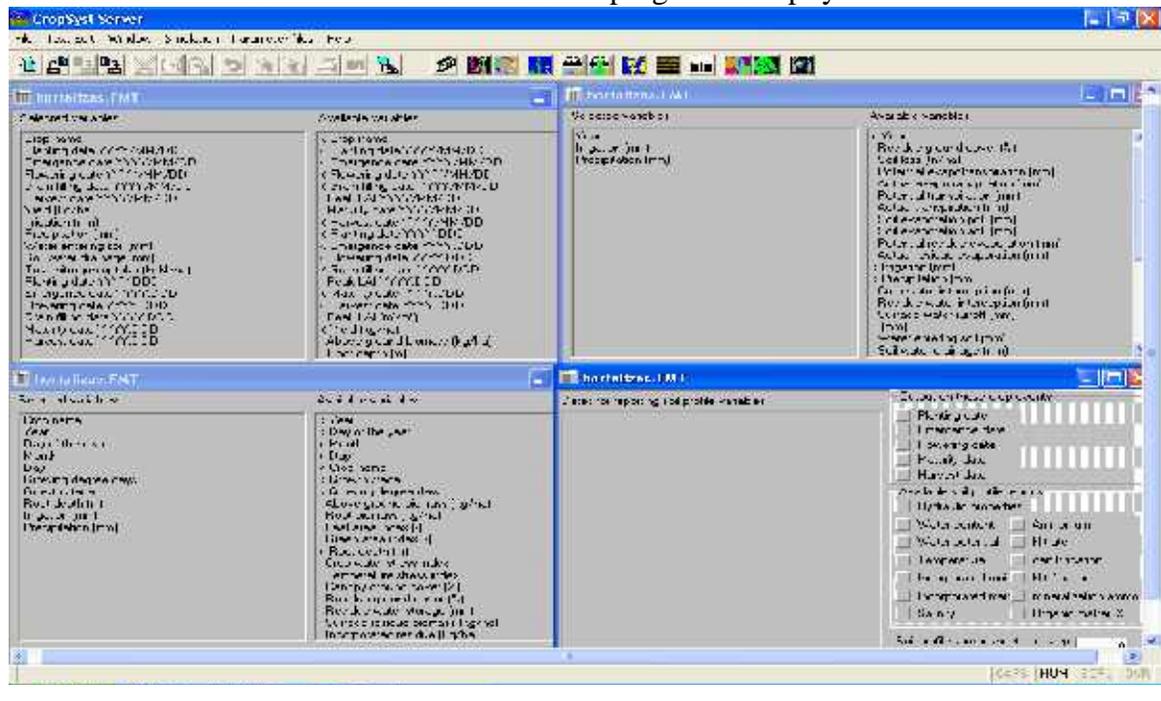
Anexo 7. Ventana del fichero de Simulación en el programa CropSys.



Anexo 8. Ventana del fichero "Batch Run" en el programa CropSys.



Anexo 9. Ventana del fichero de formato en el programa CropSyst.



Anexo 10. Ejemplo de datos diarios climatológicos año 1997.

| Año | dia anual | dia de mes | precipitación (mm) | t° max (°C) | t° min (°C) |
|------|-----------|------------|-----------------------|-------------|-------------|
| 1997 | 1 | 1 | 0.0 | 26.7 | 13.2 |
| | 2 | 2 | 0.0 | 25.6 | 14.5 |
| | 3 | 3 | 0.0 | 27.5 | 14.3 |
| | 4 | 4 | 0.0 | 27.5 | 11.4 |
| | 5 | 5 | 0.0 | 28.5 | 12.0 |
| | 6 | 6 | 0.0 | 28.2 | 10.5 |
| | 7 | 7 | 0.0 | 26.5 | 7.5 |
| | 8 | 8 | 0.0 | 28.5 | 15.5 |
| | 9 | 9 | 0.0 | 29.3 | 9.3 |
| | 10 | 10 | 0.0 | 30.5 | 10.0 |
| | 11 | 11 | 0.0 | 29.0 | 13.7 |
| | 12 | 12 | 10.4 | 29.3 | 18.2 |
| | 13 | 13 | 1.1 | 29.1 | 16.8 |
| | 14 | 14 | 0.0 | 25.7 | 14.6 |
| | 15 | 15 | 0.4 | 28.5 | 16.3 |
| | 16 | 16 | 0.0 | 28.0 | 13.7 |
| | 17 | 17 | 0.4 | 29.0 | 16.0 |
| | 18 | 18 | 0.0 | 28.3 | 16.6 |
| | 19 | 19 | 0.0 | 28.6 | 14.5 |
| | 20 | 20 | 0.0 | 28.0 | 13.2 |
| | 21 | 21 | 0.0 | 27.9 | 11.0 |
| | 22 | 22 | 0.0 | 26.4 | 10.2 |
| | 23 | 23 | 0.0 | 27.3 | 17.5 |
| | 24 | 24 | 0.0 | 27.0 | 16.5 |
| | 25 | 25 | 0.0 | 25.7 | 11.6 |
| | 26 | 26 | 0.0 | 27.5 | 15.3 |
| | 27 | 27 | 0.0 | 26.6 | 16.3 |
| | 28 | 28 | 0.0 | 28.0 | 16.2 |
| | 29 | 29 | 0.6 | 28.0 | 16.2 |
| | 30 | 30 | 0.0 | 28.5 | 15.0 |
| | 31 | 31 | 0.0 | 28.8 | 15.0 |
| | 32 | 1 | 0.0 | 24.6 | 17.0 |
| | 33 | 2 | 0.0 | 28.4 | 11.3 |
| | 34 | 3 | 0.0 | 29.3 | 10.0 |
| | 35 | 4 | 0.0 | 28.0 | 10.6 |
| | 36 | 5 | 0.0 | 29.0 | 12.6 |
| | 37 | 6 | 0.0 | 26.0 | 14.0 |
| | 38 | 7 | 0.0 | 28.6 | 16.0 |
| | 39 | 8 | 0.4 | 28.4 | 16.4 |
| | 40 | 9 | 0.0 | 27.9 | 15.0 |
| | 41 | 10 | 1.4 | 27.6 | 15.0 |
| | 42 | 11 | 0.0 | 28.3 | 14.9 |
| | 43 | 12 | 0.0 | 28.2 | 16.2 |
| | 44 | 13 | 0.0 | 30.4 | 13.0 |
| | 45 | 14 | 0.0 | 30.3 | 12.0 |
| | 46 | 15 | 0.0 | 30.2 | 15.6 |
| | 47 | 16 | 2.4 | 29.0 | 17.3 |
| | 48 | 17 | 1.4 | 26.0 | 17.0 |
| | 49 | 18 | 0.0 | 25.6 | 16.8 |
| | 50 | 19 | 0.0 | 28.2 | 16.0 |
| | 51 | 20 | 0.0 | 26.6 | 17.2 |
| | 52 | 21 | 0.0 | 29.4 | 11.5 |
| | 53 | 22 | 0.0 | 28.0 | 7.5 |
| | 54 | 23 | 2.5 | 28.4 | 12.0 |
| | 55 | 24 | 2.0 | 28.3 | 9.4 |
| | 56 | 25 | 0.0 | 28.4 | 16.4 |
| | 57 | 26 | 0.0 | 28.3 | 15.5 |
| | 58 | 27 | 0.0 | 30.3 | 15.3 |
| | 59 | 28 | 0.0 | 30.4 | 14.6 |