

## EL MODELO CROPGRO COMO UNA HERRAMIENTA DE INTEGRACION DEL CONOCIMIENTO

Walter Bowen <sup>1</sup>

### RESUMEN

**El modelo CROPGRO como una herramienta de integración del conocimiento.** Un principal objetivo de la investigación agrícola es el de lograr un mejor entendimiento de como funcionan los agrosistemas. Para lograr este objetivo es necesario que los resultados de la investigación de diferentes disciplinas sean integrados, de tal forma que la eficiencia del sistema pueda ser examinada. El desarrollo y aplicación de modelos de simulación basados en computación es un medio que proporciona un marco de referencia cuantitativo para integrar y organizar el conocimiento adquirido de la experimentación. Este método estimula la investigación basada en los procesos y el estudio de mecanismos, en lugar de la experimentación de campo fundamentada en prueba y error. Dado que la red PROFRIJOL está llevando a cabo un importante esfuerzo para formular una estrategia de investigación para mejorar la producción de frijol en suelos bajos en fósforo. Es imperante que dentro de esta estrategia se reconozca el potencial del importante papel que un modelo de simulación del crecimiento de un cultivo, como el CROPGRO, puede desempeñar como una herramienta para la integración del conocimiento, para el establecimiento de prioridades de investigación y para probar hipótesis. La información práctica requerida para trabajar con el modelo CROPGRO está puntualizada en este documento.

### ABSTRACT

**The Model CROPGRO as a tool for integrating knowledge.** A major objective of agricultural research is to better understand how agroecosystems function. To meet this objective, research results from different disciplines need to be integrated so that system performance can be examined. An approach that provides a dynamic, quantitative framework for integrating and organizing knowledge gained from experimentation is one based on the construction and application of computer-based simulation models. This approach encourages process-based research and the study of mechanisms rather than field experimentation based on trial and error. A research strategy is presently being developed by the PROFRIJOL network to improve bean production on low-P soils. This strategy needs to recognize the potentially powerful role a crop growth model such as CROPGRO can play as a tool for integrating knowledge, for setting research priorities, and for testing hypotheses. The practical data needs for working with CROPGRO are outlined in this paper.



---

<sup>1</sup> IFDC, P.O. Box 2040, Muscle Shoals, AL (USA).

---

## INTRODUCCION

Los esfuerzos científicos para cubrir la demanda de alimentos de la creciente población, sin el continuo deterioro del ambiente, requiere de un método que reconozca la complejidad del mundo real. Esta complejidad surge no solamente de consideraciones de naturaleza físico-químicas-biológicas, sino también de consideraciones de naturaleza socio-económicas-culturales-políticas. Tal complejidad ha contribuido a abrumar de igual forma a los tomadores de decisiones como a los científicos, resultando con frecuencia en una inhabilidad para definir claramente los problemas y para buscar soluciones viables. Mediante el agrupamiento por disciplinas específicas, los científicos han tenido éxito en el entendimiento de muchos conceptos básicos de los sistemas agrícolas, sin embargo han sido lentos en la integración y organización de estos conocimientos, de tal forma que pudieran ser usados para pronosticar las consecuencias de estrategias de producción alternativas o de los cambios en los recursos.

Un método que incrementa la comprensión de los conceptos básicos y que al mismo tiempo organiza este conocimiento dentro de un marco dinámico y cuantitativo, es comúnmente conocido como Análisis de Sistemas o Investigación de Sistemas (Systems Analysis or Systems Research). Como consecuencia de los avances en tecnología de computación y de la ciencia de la informática, en la actualidad se dispone de las herramientas de apoyo para la integración del conocimiento adquirido a nivel disciplinario, de tal forma que este entendimiento pueda ser usado para analizar la complejidad de la agricultura y de los sistemas ecológicos. Estas herramientas incluyen los modelos de simulación del crecimiento de las plantas y de los procesos del suelo, los modelos de sistemas sociales y económicos, los Sistemas de Información Geográfica (GIS), y los sistemas de manejo

de base de datos. Cuando estos medios, basados en computación, son usados para auxiliar a los tomadores de decisiones en el análisis de asuntos complejos, con frecuencia se les denomina Sistemas de Apoyo para la Toma de Decisiones (DSS).

### **El papel de los modelos simulación de cultivos en la investigación**

Para entender como funcionan los ecosistemas, los científicos necesitan tener acceso a herramientas tales como los modelos de simulación del crecimiento de los cultivos. Conceptualmente, una estrategia de investigación basada en el desarrollo, evaluación y uso de los modelos del crecimiento de cultivos, permite enfatizar la investigación basada en los procesos y en el estudio de mecanismos, en lugar del método de prueba y error de la experimentación de campo. Los modelos de simulación son un importante medio para aumentar la eficiencia de la investigación, ya que éstos pueden auxiliar a los investigadores en la asimilación del conocimiento adquirido mediante la experimentación, proporcionan un marco de referencia para aportaciones de carácter multidisciplinaria, así mismo, promueven el método de sistemas para la solución de problemas y facilitan una organización sistemática del conocimiento existente sobre los genotipos de cultivos y los recursos naturales.

El valor de los modelos de simulación para incrementar la eficiencia de la investigación solamente podrá visualizarse si el método de modelación se constituye como una parte integral de la investigación. Se requiere que la investigación y el desarrollo de modelos caminen simultáneamente; mientras que los nuevos conocimientos son utilizados para refinar y mejorar los modelos, los modelos son usados para identificar fisuras en el conocimiento, lo cual a su vez puede contribuir a establecer prioridades en la investigación.

Para tener éxito, el método de modelación requiere que regularmente se evalúe su progreso, así mismo es necesario un continuo refinamiento de objetivos y prioridades. También se necesita de un equipo de investigadores e instituciones comprometidas con el desarrollo de programas (software) y estándares de datos, los cuales faciliten un entendimiento funcional de como operan los ecosistemas.

Una meta de este taller es la de desarrollar una estrategia de investigación para mejorar la producción del cultivo del frijol en suelos de bajo contenido de fósforo. Al formular esta estrategia, es necesario que reconozcamos el papel que los modelos pueden jugar como una herramienta para integrar conocimientos, para establecer prioridades de investigación, y para probar hipótesis. Con el propósito de estimular la discusión hacia esta meta, me voy a permitir describir brevemente un conjunto comprensivo de modelos de simulación, así como algunos esfuerzos recientes para desarrollar el submodelo fósforo, como un componente de dichos modelos.

### **Un sistema de apoyo para la toma de decisiones de transferencia de agrotecnología (DSSAT)**

Durante la última década, un grupo internacional de científicos cooperantes han estado desarrollando modelos de simulación de cultivos, enfocados a proporcionar estimaciones realistas del comportamiento de los cultivos bajo diferentes estrategias de manejo y condiciones ambientales. Estos modelos utilizan un juego estandar de datos de acceso (inputs) y producen un juego estandar de datos de salida (outputs), aun cuando estos modelos pueden describir procesos de crecimiento de diferentes maneras, todos ellos usan el mismo procedimiento para simular los procesos del suelo, del agua y del nitrógeno (Jones, 1993; Jones *et al.*, 1994). Estos mo-

delos han sido puestos en un paquete, como parte de un programa cúpula (software shell) conocido como el Sistema de Apoyo Para Decisiones de Transferencia de Agrotecnología (DSSAT). El DSSAT permite que los usuarios puedan: 1. acceder, organizar y almacenar datos sobre cultivos, suelos, clima y precios; 2. retraer, analizar y desplegar datos; 3. validar y calibrar modelos de crecimiento de los cultivos; 4. evaluar diferentes estrategias de producción en un lugar dado o dentro de una región; y 5. analizar el riesgo asociado con la variabilidad del clima (Jones, 1993) .

Actualmente, el DSSAT incluye modelos de cultivos para simular el crecimiento del frijol, soya, maní, maíz, arroz, sorgo, mijo, trigo, avena, yuca y papa. Modelos adicionales para girasol, caña de azúcar, tomate, piña, pastos y taro se encuentran en varias fases de desarrollo. El DSSAT y los modelos de cultivos han sido evaluados, modificados y mejorados continuamente. La versión del DSSAT más recientemente puesta en circulación (Versión 3.0) contiene versiones mejoradas de los modelos, un programa para el manejo de archivos del clima, así como mejores programas de análisis, incluyendo la capacidad para simular y analizar rotaciones de cultivos de largo plazo (Tsuji *et al.*, 1994) . La aplicación potencial de los modelos del DSSAT, la manera en que los procesos son simulados, así como los requerimientos de acceso de datos para correr los modelos, son cubiertos en los programas de entrenamiento conducidos anualmente por los creadores de los modelos (Thornton *et al.*, 1995)

### **Simulando el crecimiento de los cultivos a niveles crecientes de complejidad**

Los modelos de simulación del DSSAT son capaces de simular resultados a medida que se incrementa el nivel de complejidad. Los más simples o de primer nivel asumen que el

crecimiento está limitado solamente por la cantidad de radiación, temperatura y por el potencial genético, el agua y los nutrientes se asume que no son limitantes. La simulación a este nivel proporciona una estimación del rendimiento potencial. El segundo nivel asume que el desarrollo del cultivo puede ser además limitado por la disponibilidad del agua, pero los nutrientes no son limitantes. El tercer nivel incluye la disponibilidad de nitrógeno como una posible limitante, mientras que el cuarto nivel incluye la disponibilidad del fósforo, además de las limitantes de los niveles anteriores.

Al aumentar el nivel de complejidad de la simulación del crecimiento de un cultivo, la demanda de acceso de datos también aumenta (Figura 1). Los requerimientos de acceso de datos son acumulativos, por lo tanto los datos necesarios a un nivel, también lo son al siguiente nivel superior. Para todos los niveles de complejidad, los modelos de simu-

lación requieren valores diarios de radiación solar, temperatura máxima del aire, temperatura mínima del aire y precipitación pluvial. Estas cuatro variables determinan los procesos que son descritos dentro de los modelos.

El nivel de complejidad a que un usuario quiera simular, dependerá de los objetivos, así como de la disponibilidad de datos de acceso. Por ejemplo, el modelo puede ser usado para comparar el rendimiento potencial de diferentes cultivares de frijol en base a radiación, temperatura y fotoperíodo en diferentes sitios. En este caso, el usuario asume que el agua y los nutrientes existen en cantidades suficientes, por lo tanto cualquier diferencia en rendimiento puede ser atribuida solamente a una interacción entre el genotipo y el ambiente. Para simular rendimiento potencial, el único acceso de datos requerido es para las variables de clima, fecha de siembra, población de plantas, espaciamiento entre surcos y un conjunto de parámetros específicos para cada

		Incremento de la complejidad →			
		Producción potencial	Disponibilidad de agua	Disponibilidad de agua, N	Disponibilidad de agua, N, P
Incremento de datos de acceso ↓	Radiación solar	Radiación solar	Radiación solar	Radiación solar	Radiación solar
	Temp. máxima	Temp. máxima	Temp. máxima	Temp. máxima	Temp. máxima
	Temp. mínima	Temp. mínima	Temp. mínima	Temp. mínima	Temp. mínima
	Precipitación	Precipitación	Precipitación	Precipitación	Precipitación
Cultivar	Cultivar	Cultivar	Cultivar	Cultivar	
Prácticas de manejo	Prácticas de manejo	Prácticas de manejo	Prácticas de manejo	Prácticas de manejo	Prácticas de manejo
		Manejo de irrigación	Manejo de irrigación	Manejo de irrigación	Manejo de irrigación
	Propiedades físicas del perfil del suelo	Propiedades físicas del perfil del suelo	Propiedades físicas del perfil del suelo	Propiedades físicas del perfil del suelo	Propiedades físicas del perfil del suelo
		Manejo del Fert. N y los residuos	Manejo del Fert. N y los residuos	Manejo del Fert. N y los residuos	Manejo del Fert. N y los residuos
		Propiedades químicas del perfil del suelo	Propiedades químicas del perfil del suelo	Propiedades químicas del perfil del suelo	Propiedades químicas del perfil del suelo
	Manejo del Fert. P y los residuos	Manejo del Fert. P y los residuos	Manejo del Fert. P y los residuos	Manejo del Fert. P y los residuos	

Fig. 1. La relación entre el nivel de complejidad de la simulación y la demanda de datos.

cultivar; no se requiere información del suelo. Sin embargo, se requiere de datos del perfil del suelo cuando se amplía el objetivo para incluir la simulación del efecto de la disponibilidad del agua y de los nutrientes (N, P) sobre el rendimiento, o de otros componentes tales como la fijación de nitrógeno o la absorción del fósforo.

### **Integración de las actividades de la experimentación y del modelaje**

El nivel de simulación que mayormente nos interesa dentro de este taller es indudablemente el cuarto nivel, el nivel de complejidad que incluye al fósforo, así como al agua y al nitrógeno, de tal manera que el modelo de simulación para el frijol es el más relevante para nuestra meta de desarrollar una estrategia para mejorar la producción del frijol en suelos bajos en fósforo.

El modelo para frijol fue primeramente liberado con el nombre de BEANGRO (Hoogenboom *et al.*, 1994). Posteriormente, el código para el modelo BEANGRO fue combinada con el de los modelos SOYGRO y PNTUGRO, con el fin de crear un modelo para el desarrollo de leguminosas denominado CROPGRO (Hoogenboom *et al.*, 1993). Este modelo mejorado incluye opciones para simular fotosíntesis a nivel hoja, la intercepción de la luz por el follaje de los surcos contiguos (Boote y Pickering, 1994), la dinámica del nitrógeno del suelo, la absorción del nitrógeno, la fijación de nitrógeno y el daño causado por las plagas (Batchelor *et al.*, 1993).

En este punto, debo de enfatizar que el submodelo fósforo para CROPGRO está aún en proceso de desarrollo. Recientemente fue ensamblada una versión del CROPGRO, la cual incorpora varios componentes del submodelo fósforo, así que cuando menos una versión preliminar del modelo está disponible para proveer una estructura que permita

el mejoramiento y prueba del modelo. El hecho disponer de esta estructura deberá ayudarnos a desarrollar una estrategia de investigación que facilite el enlace lógico de las actividades experimentales y de modelaje.

El mejoramiento y las pruebas del submodelo fósforo requieren de experimentos de campo bien conducidos. Estos datos pueden provenir de experimentos previos, o también pueden provenir de nuevos experimentos los cuales pudieran ser implementados en este taller. De cualquier forma, los mismos datos son requeridos para correr el modelo CROPGRO, así como para probar su validez contra datos de experimentos reales. Consecuentemente surge la pregunta, ¿Que clase de datos necesitamos?.

### **Requerimiento de datos para el modelo CROPGRO**

El requerimiento mínimo de datos de acceso (input) para correr el modelo CROPGRO fue mostrado anteriormente en la Figura 1. Estos datos son suficientes para correr el modelo, sin embargo, para probar críticamente la eficiencia del CROPGRO bajo las condiciones de Centro América, se requiere de datos adicionales. Esta información adicional incluye mediciones hechas durante el curso de los experimentos, y pueden incluir variables tales como la acumulación de biomasa, el contenido de agua del suelo o el contenido de nitrógeno de la planta durante varias fechas del ciclo del cultivo. Estas mediciones, así como muchos otros valores medidos pueden ser comparados con los resultados simulados (output) para evaluar la eficiencia del modelo.

En seguida se presentan algunas notas relacionadas con el conjunto mínimo de datos de acceso para simular condiciones similares a las que ocurrem durante los experimentos de campo.

---

### *Variables del Clima*

Se requiere que una estación meteorológica esté ubicada cerca de los experimentos de campo, con el fin de registrar datos diarios de precipitación pluvial, temperatura máxima, temperatura mínima y radiación solar. Estas cuatro variables constituyen el motor de los modelos. La radiación recibida también puede medirse como el número de horas de luz del día. En la mayor parte de las áreas, una estación meteorológica dentro de una distancia de 500 metros puede proporcionar medidas confiables. A distancias mayores los patrones de lluvia pueden ser significativamente diferentes. Como una alternativa, en caso de que la temperatura y la radiación fueran medidas a una distancia mayor de 500 metros, para registrar la lluvia se hace necesario colocar un pluviómetro en el mismo lugar del experimento.

### *Características del Perfil del Suelo*

Los modelos simulan los procesos del suelo basándose en propiedades definidas por los diferentes horizontes del suelo, a una profundidad de cuando menos la longitud de las raíces al final del ciclo del cultivo. Las propiedades más importantes de cada horizonte incluyen: la profundidad desde la superficie del suelo hasta el límite inferior de cada horizonte, el punto de marchitamiento permanente (PMP), la capacidad de campo (CC), la densidad aparente, el contenido de carbón y nitrógeno, el pH del suelo y el fósforo aprovechable. Las constantes de humedad PMP y CC son mejor estimadas en el campo, sin embargo, se pueden obtener estimaciones iniciales a partir de la textura, la densidad aparente y el contenido de carbón orgánico.

### *Coefficientes Específicos del Cultivar*

El modelo CROPGRO simula el efecto tanto de la temperatura como del fotoperíodo durante el desarrollo vegetativo, el desarrollo reproductivo y los procesos de crecimiento. Para lograr lo anterior, se proporcio-

nan coeficientes específicos del cultivar, los cuales describen la sensibilidad a la temperatura y el fotoperíodo para cada cultivar, y definen los valores de inicio para la germinación, la floración y la madurez fisiológica. También se dan otros coeficientes específicos, tales como la tasa de aparición de las hojas, el tamaño promedio de las hojas, el espesor de las hojas, la tasa de aparición de las flores, la tasa de aparición de las vainas, la tasa de crecimiento de la semilla individual y la cáscara, así como el número de semillas por vaina (Hoogenboom *et al.*, 1992; Hoogenboom *et al.*, 1993). Estos coeficientes son por lo general calculados de la información de experimentos de campo, en los cuales las condiciones de crecimiento han sido optimizadas. Si éstos son calculados cuidadosamente, los coeficientes de los cultivos podrán ser los mismos para todas las localidades.

### *Variables de las Prácticas de Manejo*

En seguida se definen algunas de estas prácticas de manejo:

- Fecha de siembra, profundidad de siembra, población de plantas y la distancia entre surcos.
- Fechas de riego, cantidad de agua aplicada y la clase de sistema de riego.
- Fecha de aplicación del fertilizante nitrogenado, cantidad aplicada, método de aplicación, profundidad de aplicación y clase de fertilizante nitrogenado.
- Cantidad de residuos del cultivo anterior, el contenido de nitrógeno y fósforo de los residuos, profundidad de incorporación y fecha de incorporación.
- Fecha de aplicación del fertilizante fosfórico, cantidad aplicada, método de aplicación, profundidad de aplicación y clase de fertilizante fosfórico.

- Contenido total y soluble de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de la de roca fosfórica cuando se usa como fuente de fósforo.

#### *Condiciones Iniciales*

Los modelos necesitan iniciar la simulación con algunas estimaciones iniciales del agua del suelo, nitratos, amonio y fósforo disponibles. De ser posible estas variables deberán ser medidas a diferentes profundidades al momento de la siembra o con anterioridad a la siembra. Por ejemplo, las condiciones iniciales podrán ser determinadas para cada capa de suelo de 10 a 15 cm hasta una profundidad de 120 cm. Si estas variables son medidas, deberán registrarse las fechas en que

las muestras de suelo fueron tomadas, así como los intervalos de profundidad correspondientes.

#### *Variables Medidas*

Estas variables no son necesarias para corre el modelo CROPGRO, pero son muy útiles para evaluar la eficiencia del modelo. Una lista parcial de las variables para las cuales el modelo proporciona valores (output) simulados se proporciona en la Cuadro 1. Las mediciones de campo de cualquiera de estas variables podrá ser comparada fácilmente con los valore simulados utilizando la interfase gráfica desarrollada por el DSSAT. Un ejemplo de la comparación entre datos

**Cuadro 1.** Una lista parcial de las variables para las cuales el modelo proporciona valores.

Calculado diariamente
Contenido volumétrico de agua por capa del suelo (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )
Contenido de nitrógeno mineral por capa del suelo (mg kg <sup>-1</sup> )
Contenido de fósforo por capa del suelo (mg kg <sup>-1</sup> )
Contenido de nitrógeno total por capa del suelo (kg ha <sup>-1</sup> )
Contenido de carbono orgánico por capa del suelo (t ha <sup>-1</sup> )
Densidad de raíces por capa del suelo (cm cm <sup>-3</sup> )
Índice de área foliar (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )
Peso seco de biomasa, sin raíces (kg ha <sup>-1</sup> )
Peso seco de raíces (kg ha <sup>-1</sup> )
Peso seco de tallos (kg ha <sup>-1</sup> )
Peso seco de hojas (kg ha <sup>-1</sup> )
Peso seco de vainas (kg ha <sup>-1</sup> )
Peso seco de semillas (kg ha <sup>-1</sup> )
Peso seco de nódulos (kg ha <sup>-1</sup> )
Número de vainas (vaina m <sup>-2</sup> )
Número de semillas (semilla m <sup>-2</sup> )
Cantidad de N, P en cada componente de la planta (kg ha <sup>-1</sup> )
Cantidad de N fijo (kg ha <sup>-1</sup> )
Calculado una vez
Las etapas de desarrollo fenológico (fecha)
R1 - 50% de las plantas con una flor en cualquier nudo
R3 - 50% de las plantas con primera vaina
R5 - 50% de las plantas con granos que inician crecer
R7 - 50% de las plantas con madurez fisiológica
Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )

simulados y datos medidos se presenta en la Figura 2.

## CONCLUSIONES

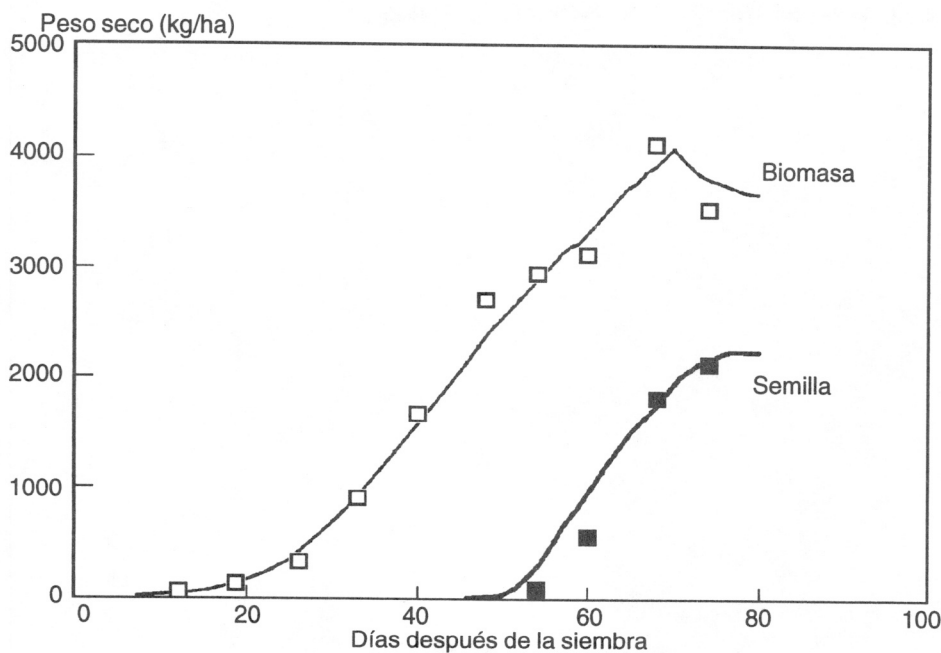
El uso de un método cuantitativo para el análisis de sistemas ha sido facilitado mediante el desarrollo de herramientas de simulación tales como los modelos de crecimiento de cultivos. En virtud de que la red PROFRIJOL está intentando mejorar la producción de frijol en suelos de bajo contenido de fósforo, considero que un modelo de simulación de crecimiento como el CROPGRO podría proporcionar un marco de referencia crítico para la asimilación de conocimiento y para el establecimiento de las prioridades de investigación. A medida que el modelo se continúe desarrollando y mejorando, también podría ser una

herramienta confiable para la evaluación de la respuesta del cultivo a la aplicación de fósforo, así como para determinar en que forma dicha respuesta es afectada por las complejas interacciones del clima, tipo de suelo, genotipo y prácticas de manejo.

Solamente ha sido posible presentar una breve introducción al modelo CROPGRO, sin embargo, espero que se haya reconocido la importancia del potencial beneficioso que podría ser obtenido si se logra la integración de las actividades experimentales con las de modelaje.

## AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi agradecimiento a Gildardo Carmona por su participación en la traducción de este documento.



**Fig. 2.** Un ejemplo de la comparación entre datos simulados (las líneas) y datos medidos (los símbolos) para un experimento de frijol.



**LITERATURA CITADA**

- BATCHELOR, W. D.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J.; PINNSCHMIDT, H. O. 1993. Extending the use of crop models to study pest damage. *Transactions of the ASAE* 36(2):551-558.
- BOOTE, K. J.; PICKERING, N. B. 1994. Modeling photosynthesis of row crop canopies. *HortScience* 29(12):1423-1434.
- HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J. 1992. Modeling growth, development, and yield of grain legumes using SOYGRO, PNUTGRO, and BEANGRO: a review. *Transactions of the ASAE* 35(6):2043-2056.
- HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J.; BOWEN, W. T.; PICKERING, N. B.; BATCHELOR, W. D. 1993. Advancement in modeling grain legume crops. ASAE Paper No. 93-4511. St. Joseph, MI, American Society of Agricultural Engineers. 21 p.
- HOOGENBOOM, G.; WHITE, J. W.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J. 1994. BEANGRO: a process-oriented dry bean model with a versatile user interface. *Agronomy Journal* 86:182-190.
- JONES, J. W. 1993. Decision support systems for agricultural development. p. 459-471. *Systems approaches for agricultural development*. Ed. por F. W. T. Penning de Vries, P. S. Teng, K. Metselaar. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- JONES, J. W.; HUNT, L. A.; HOOGENBOOM, G.; GODWIN, D. C.; SINGH, U.; TSUJI, G. Y.; PICKERING, N. B.; THORNTON, P. K.; BOWEN, W. T.; BOOTE, K. J.; RITCHIE, J. T. 1994. Input and output files. p. 1-94. *DSSAT version 3*. Ed. por G. Y. Tsuji, G. Uehara, S. Balas. Vol. 2. Honolulu, University of Hawaii.
- THORNTON, P. K.; BOWEN, W. T.; WILKENS, P. W.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J.; HOOGENBOOM, G. 1995. Applying crop models and decision support systems. IFDC Special Publication 22. Muscle Shoals, International Fertilizer Development Center. 57 p.
- TSUJI, G. Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. 1994. *DSSAT version 3*. Vol. 1-3. Honolulu, University of Hawaii.

