

CALIBRACION Y VALIDACION DE UN MODELO DE SIMULACION DE RENDIMIENTO PARA MANI (*Arachis hypogaea* [L.]

A.C. RAVELO y J.L. DARDANELLI¹

Recibido:04-06-92

Aceptado:23-10-92

RESUMEN

Se calibra y valida un modelo de simulación de rendimiento para maní cultivado en la región central de Córdoba. La calibración y validación se efectuó con datos obtenidos de ensayos experimentales llevados a cabo en la EEA Manfredi, INTA durante las campañas agrícolas 1989/90 y 1990/91. El modelo estima las fechas de ocurrencia de las fases fenológicas: emergencia, floración, comienzo de desarrollo del clavo, desarrollo del grano y madurez fisiológica, y los componentes del rendimiento: Número de granos, peso de grano, granos por caja y rendimiento de cajas y granos. Otras estimaciones son: Índice de área foliar, biomasa en kg/ha de materia seca, peso de tallos (kg/ha) y relación entre pesos de biomasa y cajas. La calibración consistió en establecer los coeficientes genéticos que regulan el crecimiento y el desarrollo de la planta de forma de ajustar los valores observados de dichos procesos en una campaña agrícola. La validación se realizó mediante la verificación de las estimaciones del modelo con datos de control de otra campaña agrícola. Los resultados obtenidos tanto en la calibración como en la validación, muestran una adecuada estimación de las fechas fenológicas y de las variables fenométricas. En la validación, la fase de maduración fue estimada con sólo un día de diferencia y el error de estimación del rendimiento en grano no superó el 5 %.

Palabras clave: calibración, validación, modelo, maní, rendimientos.

SUMMARY

A process model for peanut is calibrated and validated for the central region of Cordoba with experimental data from EEA Manfredi, INTA during two growing seasons (1989/90 and 1990/91). The model estimates the dates of: Emergence, flowering, begining peg, begining pod and seed development, and physiological maturity and the yield components: Number of grains, weight of a grain, of grain per pod and pod and grain yield. Another estimates are: Leaf area index, biomass, stalk and biomass-stalk ratio. The calibration consisted in obtaining the genetic coefficients wich control plant growth and development in order to fit observed data from a growing season. The validation was done using control data from another crop season. The model estimates for both calibration and validation processes of the crop growth stages and phenometric variables were very accurate. For the validation, the maturity date was estimated with only one day error and the grain yield was estimated with less than 5 % error.

Key Words: Calibration, validation, model, peanut, yields.

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias (Universidad Nacional de Córdoba), y Estación Experimental Manfredi (INTA), respectivamente.

INTRODUCCION

Los modelos de simulación de rendimientos permiten estimar la evolución y productividad de un cultivo a partir de datos meteorológicos, agronómicos y edáficos. Para que los modelos sean operativos deben ser calibrados y validados de manera que las estimaciones sean iguales o muy semejantes a las observaciones obtenidas en parcelas experimentales. En la Argentina se han realizado calibraciones de modelos de simulación de rendimiento para trigo (Ravelo et al., 1987a), para maíz (Ravelo et al., 1987b), para arroz (Ravelo y Planchuelo-Ravelo, 1989) y para soja (Ravelo, 1989) y en el desarrollo de un modelo fenológico para lupino (Ravelo y Planchuelo-Ravelo, 1987).

El maní constituye un importante cultivo estival en la provincia de Córdoba. Se lo cultiva principalmente en el centro del territorio provincial y su producción no sólo satisface las demandas del mercado interno, sino que se producen saldos exportables. La calibración y validación del modelo para maní PNUTGRO, desarrollado por Boote et al. (1988), tiene como finalidad disponer de un modelo operativo para el pronóstico de la productividad del cultivo en la zona agrícola en consideración.

DESCRIPCION DEL MODELO

El modelo para maní está programado en los lenguajes FORTRAN 77 y BASIC y está diseñado para estimar la evolución diaria de la planta en términos de producción de biomasa (tallos, hojas, raíces, vainas y granos).

Las características principales del modelo son:

- Estima las fechas de ocurrencia de las fases fenológicas y su duración.
- Estima la producción de biomasa y su distribución en la planta.

- Simula el desarrollo del sistema radical y el balance hídrico del suelo.

- Evalúa el efecto de la deficiencia hídrica en la expansión foliar y la fotosíntesis.

Datos necesarios para la calibración y validación del modelo:

- Latitud de la localidad (necesaria para el cálculo de la duración del día).

- Datos meteorológicos diarios para todo el ciclo del cultivo:

Temperaturas máximas y mínimas.

Radiación solar.

Precipitación.

- Datos edáficos:

Coefficientes de drenaje, escorrentía, evaporación y reflexión de la radiación solar.

Porcentaje de raíces a varias profundidades.

Contenido de agua a saturación, límite superior e inferior del agua útil del suelo.

Contenido inicial de agua en las distintas capas del suelo.

- Prácticas culturales:

Cultivar.

Fecha, densidad, espaciamiento y profundidad de siembra.

Cantidad y frecuencia de riegos (en caso de utilizarse riego).

- Coeficientes genéticos:

Requerimientos térmicos para el desarrollo desde la emergencia hasta el fin del período reproductivo.

Eficiencia de la fotosíntesis.

Desarrollo foliar.

Acumulación calórica necesaria para el llenado de los granos.

Tamaño y número de granos.

Calibración y validación de un modelo de simulación...

Los estados fenológicos considerados (Boote, 1982) en el modelo son:

Fecha de siembra
Emergencia
Primera flor en el 50 % de las plantas (R1)
Primer clavo en el 50 % de las plantas (R2)
50 % de plantas con una caja totalmente expandida (R4)
Primer grano totalmente desarrollado (R6)
Madurez fisiológica (R8).

límites de agua útil fueron determinados a campo (Bachmeier y Dardanelli, 1991) y los límites inferiores y la capacidad a saturación se estimaron en laboratorio (Bachmeier y Buffa, 1988). El agua útil para todo el perfil considerado fue de 260 mm.

Al registrarse el estado R8 se cosecharon cuatro muestras de dos metros cuadrados cada una. Para cada muestra se determinaron los componentes de rendimiento.

1. Calibración del modelo.

MATERIALES Y METODOS

Los ensayos de campo se llevaron a cabo en la EEA Manfredi / INTA. Las siembras se efectuaron el 5/12/89 y el 27/11/90. La variedad utilizada fue Florman INTA.

Los datos meteorológicos fueron provistos por la estación meteorológica sita en la misma estación experimental (31° 49'S, 63° 46' W).

Las características del suelo son las siguientes: Haplustol entico, mixto, néxico, térmico de la serie Oncativo.

La densidad de siembra fue de 158.000 y 128.000 plantas/ha en 1989/90 y 1990/91, respectivamente y a 0,70 m entre hileras. Los estados fenológicos fueron determinados semanalmente sobre 20 plantas elegidas al azar. Cada 10 días se determinó materia seca total de hojas, tallos más pecíolos, cajas y granos. El índice de área foliar se estimó por la relación peso seco/área de las hojas.

La humedad del suelo fue observada semanalmente mediante el método gravimétrico en los primeros 10 cm y con sonda de neutrones calibrada al efecto (Bachmeier et al., 1990) para las profundidades entre 10 y 230 cm. Se efectuaron 4 repeticiones en 1989/90 y 6 repeticiones en 1990/91. Los

Se utilizaron los datos obtenidos durante la campaña 1990/91. La calibración se llevó a cabo para tres procesos en forma secuencial y consistió en: ajuste de los coeficientes genéticos que regulan el desarrollo fenológico, ajuste de los coeficientes y variables del balance hidrológico y, finalmente, ajuste de los coeficientes genéticos que regulan los procesos fenométricos.

El balance hidrológico utiliza valores de evapotranspiración potencial (ETP) calculados a partir de la radiación neta diaria y la temperatura (Priestley y Taylor, 1972). A los fines de considerar los efectos del viento y la humedad relativa, se multiplica al valor de la evapotranspiración por 1,1. Este coeficiente de ajuste se incrementa a 1,15 cuando la temperatura supera los 35 grados centígrados (Ritchie y Godwin, 1989). En la región central de Córdoba, la humedad del aire y el viento son de considerable efecto sobre la ETP. Al comparar las estimaciones de la evapotranspiración potencial con las obtenidas por el método de Penman (1948) considerado como estándar de referencia se observó que, en promedio, las estimaciones por este método eran un 7 % mayores. Por tal razón las estimaciones de la evapotranspiración potencial fueron incrementadas en un 7 %.

Cuadro N°1: Valores observados y estimados de las fases fenológicas y de los componentes del rendimiento.

Variables analizadas	CALIBRACION		VALIDACION	
	OBSERVADO	ESTIMADO	OBSERV.	ESTIMADO
Fecha de floración (R1)	2-1-91	3-1-91	9-1-90	6-1-90
Fecha ira. caja exp.(R4)	31-1-91	1-2-91	3-2-90	2-2-90
Fecha ira. sem. exp.(R6)	15-2-91	15-2-91	17-2-90	16-2-90
Fecha de maduración	18-4-91	16-4-91	30-4-90	1-5-90
Rendimiento cajas, kg/ha	3885	3820	3063	3180
Rendimiento granos,kg/ha	3102	2950	2463	2520
Peso de un grano, g	0,444	0,436	0,540	0,547
Número de granos /m ²	664	712	456	461
Número de granos/caja	1,70	1,70	1,64	1,70
Índice área foliar máx.	3,49	3,61	3,01	3,04
Materia seca en R8 kg/m ²	0,801	0,800	0,508	0,661

2. Validación del modelo.

Se consideraron los datos obtenidos de la campaña 1989/90. La validación consistió en utilizar el modelo calibrado, o sea el modelo con los coeficientes genéticos y del balance hidrológico ajustados para la campaña 1990/91, para estimar las variables fenológicas, fenométricas y del balance hídrico.

RESULTADOS Y DISCUSION

1. Calibración

- Ajuste de los coeficientes genéticos de procesos fenológicos.

Se utilizaron inicialmente los coeficientes del cultivar Florunner y luego se fueron modificando iterativamente de forma de ajustar a los valores observados de las fases

fenológicas consideradas. Las estimaciones finales logradas con los coeficientes ajustados se presentan en el Cuadro N°1. Puede apreciarse que la diferencia entre observado y estimado es de sólo 2 días para el estado de maduración.

- Ajuste del balance hídrico.

La Fig.1 presenta la relación entre evapotranspiración estimada por el modelo y por Penman. Puede apreciarse que la recta de regresión está por encima de la relación 1:1 entre ambas estimaciones y la excede en un 7% en todo el rango de valores. Por tal razón, la estimación de ETP por el modelo fue multiplicada por 1,17 antes de ser utilizada en el balance hídrico. Los componentes del balance hídrico fueron calculados diariamente y se lograron estimaciones de humedad para distintas profundidades. Se seleccionó la curva de escorrentía

Calibración y validación de un modelo de simulación...

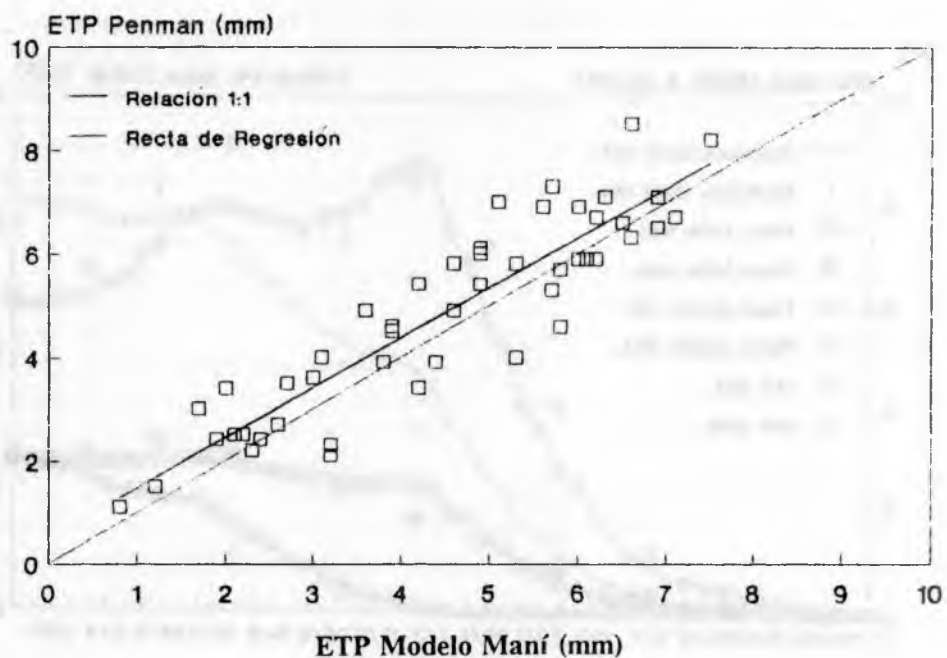


Fig. 1: Relación entre la evapotranspiración potencial estimada por el modelo y por el método de Penman.

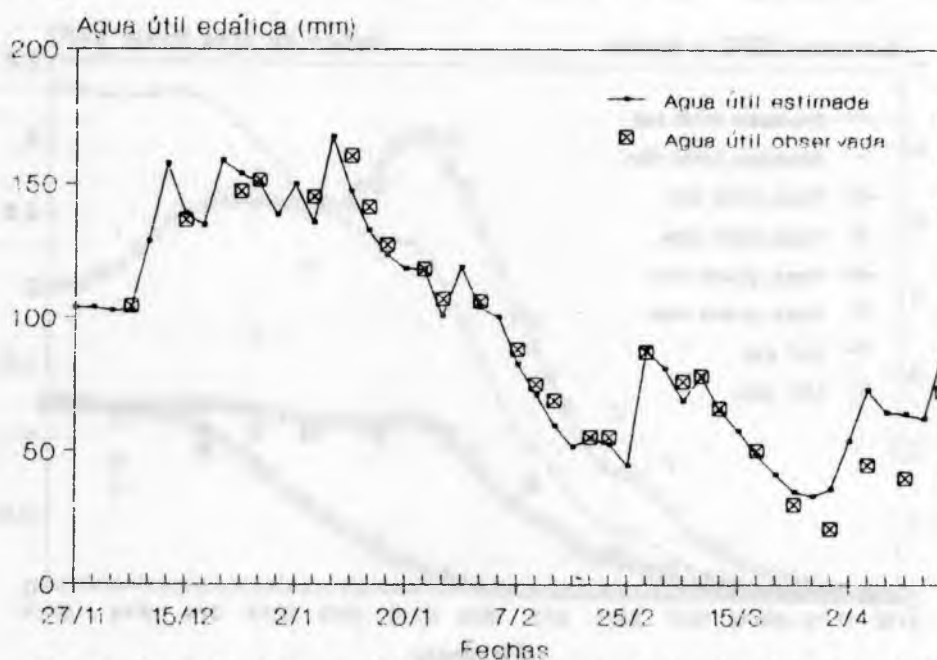


Fig. 2: Evolución del agua útil del suelo (observada y estimada) durante la campaña 1989/90.

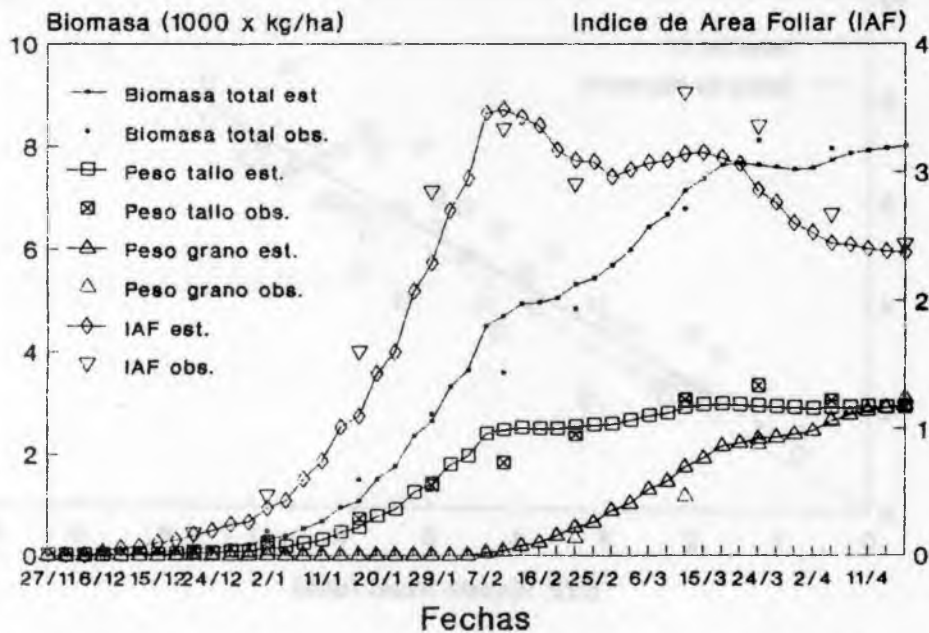


Fig. 3: Evolución fenométrica del maní. Valores observados y estimados de área foliar y de peso de tallo, hoja y grano para la campaña 1990/91.

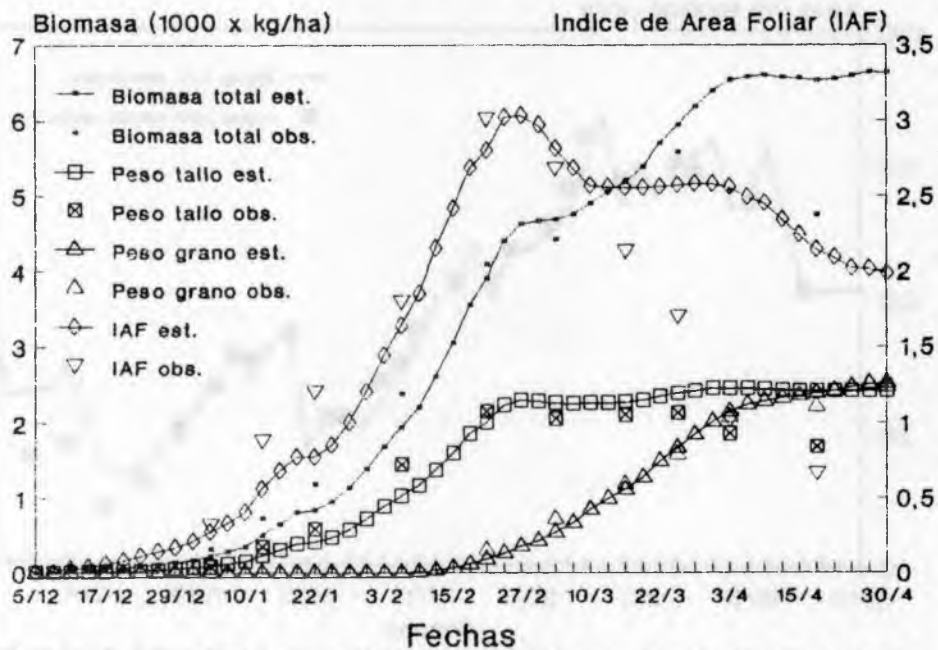


Fig. 4: Evolución fenométrica del maní. Valores observados y estimados de área foliar y de peso de tallo, hoja y grano para la campaña 1989/90.

que proporcionaba las mejores relaciones entre precipitación observada y precipitación efectiva, es decir la curva número 89. En la Fig.2 se ilustran las estimaciones diarias de agua útil total del suelo y los valores observados. Puede apreciarse que el agua disponible para la planta no superó a la siembra el 40 % del valor máximo (260 mm). El agua útil se fue agotando hasta que se detectaron efectos adversos sobre la fotosíntesis a partir del estadio R4.

La Figura 3 presenta las estimaciones fenométricas del modelo para la evolución diaria del índice de área foliar y del peso de la biomasa total, tallo y grano desde la siembra a la maduración. El ajuste de los valores observados es aceptable en cuanto a montos y tendencia de los mismos.

2. Validación del modelo

Los resultados de la validación se presentan en el Cuadro N°1 y en la Figura 4, donde pueden apreciarse las diferencias entre valores observados y estimados para las variables fenológicas y fenométricas. Se observa una adecuada estimación de las fechas de ocurrencia de las fases fenológicas. Por ejemplo, el error de estimación para la floración es de 3 días y para la maduración de sólo 1 día. Asimismo, son muy aceptables las estimaciones de los componentes del rendimiento y del índice de área foliar máxima. Puede apreciarse que el mayor error de estimación corresponde a la biomasa total en R8. Si se analiza la Figura 4, puede apreciarse que sólo en los últimos estadios del cultivo se producen errores de estimación destacables. Esto es debido a que en la

campana 1989/90, el control de la viruela del maní no se realizó en los últimos estadios debido a criterios económicos. El índice de área foliar y la biomasa total reflejan el efecto de la falta de controles de la viruela es decir la defoliación causada por la enfermedad. Debe tenerse en cuenta que el modelo no es sensible a la ocurrencia de plagas y enfermedades. La evolución del peso del grano no fue afectada, lo cual indica la prescindibilidad de controles tardíos de la viruela del maní.

CONCLUSIONES

El modelo fisiológico de rendimiento para maní ha sido calibrado con datos experimentales de la campaña agrícola 1990/91 y se han obtenido buenas estimaciones de las fases fenológicas y de los componentes del rendimiento. El ajuste efectuado a las estimaciones de la evapotranspiración potencial ha contribuido a la obtención de mejores estimaciones de agua edáfica. La campaña 1989/90 fue utilizada como control para la validación destacándose que no fueron necesarios nuevos ajustes a los coeficientes del modelo. En función de los aceptables errores de estimación logrados, el modelo se encuentra ahora en condiciones de ser utilizado en forma operativa para proporcionar pronósticos de rendimiento con errores inferiores al 5 % y establecer simulaciones de distintos tipos de manejo (aplicación de riego, fechas y densidad de siembra, etc.). Esta metodología de calibración puede ser utilizada para otras áreas agrícolas y para obtener los coeficientes genéticos de otras variedades, mediante un análisis comparativo con la variedad utilizada en este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- 1) BACHMEIER, O.A. y E.V. BUFFA. 1988. Una función de ajuste para la curva característica de humedad de un suelo de la región central de Córdoba. *Actas XII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Corrientes*, pag. 150.

- 2) BACHMEIER, O.A.; J.L. DARDANELLI; y R.C. GIL. 1990. *Calibración en campo de un medidor combinado humedad-densidad por emisión de radiaciones. Presentado al XIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bariloche (en prensa).*
- 3) BOOTE, K.J. 1982. *Growth stages of peanut (Arachis hypogaea L.). Peanut Science, 9: 35-40.*
- 4) BOOTE, K.J.; J.W. JONES; G. HOOGENBOOM; G.G. WILKERSON and S.S. JAGTAP. 1988. *PNUTGRO V1.01: Peanut Crop Growth and Yield Model. Tech. Doc., Univ. of Fl., Gainesville, Florida. 39 pp.*
- 5) PENMAN, H.L. 1948. *Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. Proc. Royal Soc., A 193: 120-145.*
- 6) PRIESTLEY, G.A. and R.J. TAYLOR. 1972. *On the Assessment of Surface Heat and Evaporation using Large-Scale parameters. Monthly Weather Review, 100(2): 81-92.*
- 7) RAVELO, A.C.; A.J. PASCALE y J.A. IZAURREALDE. 1987a. *Análisis y calibración de un modelo fisiológico para trigo. Actas de la III Reunión Argentina de Agrometeorología. Vaquerías, Córdoba, 9-12 marzo 1987: 55-62.*
- 8) RAVELO, A.C.; R.A. SEILER y V. ROTONDO. 1987b. *Evaluación de un modelo fisiológico para maíz. Actas de la III Reunión Argentina de Agrometeorología. Vaquerías, Córdoba, 9-12 marzo 1987: 67-73.*
- 9) RAVELO, A.C. y A.M. PLANCHUELO-RAVELO. 1987. *LUPIFEN: Un modelo fenológico para el lupino blanco (Lupinus albus L.). Actas de la III Reunión Argentina de Agrometeorología. Vaquerías, Córdoba, 9-12 marzo 1987: 75-84.*
- 10) RAVELO, A.C. y A.M. PLANCHUELO-RAVELO. 1989. *Calibración de un modelo fisiológico de rendimientos para arroz. Actas de la 4ta. Reunión Argentina de Agrometeorología. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 11- 18.*
- 11) RAVELO, A.C., 1989. *The impact of climatic variability and agricultural practices on soybean yields. Actas de la 4ta. Conferencia Mundial de Investigación en Soja. Buenos Aires, Argentina (i): 88-97.*
- 12) RITCHIE, J.T. and D.C. GOODWIN, 1989. *Soil water balance and weather generator. Em "Modeling the growth and development of sorghum and pearl millet. ICRISAT Res. Bull. No.12. p.14-16.*