

Nota Técnica

VALIDACION DEL MODELO CERES-RICE PARA ESTIMAR RENDIMIENTOS DE ARROZ EN LIBERIA, COSTA RICA¹

Roberto Villalobos², José Alberto Retana**

RESUMEN

Un modelo de simulación (CERES-Rice) ha sido diseñado para estimar los componentes de desarrollo y producción de diferentes variedades de arroz bajo ambientes tropicales y subtropicales. El objetivo principal de este trabajo es presentar los resultados obtenidos al calibrar y validar el modelo CERES-Rice para las condiciones particulares del cantón de Liberia, en el Pacífico Norte de Costa Rica. La calibración del modelo se realizó con información regional pertinente. El análisis de validación del método consistió en una evaluación estadística de la comparación de los rendimientos regionales de arroz de secano observados y los estimados por el modelo. Los resultados muestran un índice de concordancia de 92%, un coeficiente de correlación positiva entre los datos analizados de 92% y un coeficiente de determinación de 84%. El modelo demuestra habilidad para predecir la ocurrencia fenológica, lo que provee una buena oportunidad a los arroceros de optimizar las operaciones en la finca. Además, se constituye en una herramienta valiosa de pronóstico y una ayuda en el planeamiento de la cosecha y la comercialización del producto.

INTRODUCCION

La utilización de modelos de simulación en la investigación agrícola ha ido en aumento, principalmente debido a los avances en las técni-

ABSTRACT

Validation of the CERES-Rice model for assessment of rice yields in Liberia, Costa Rica. A simulation model (CERES-Rice) has been designed to estimate the development and production components of several varieties of rice grown under tropical and subtropical conditions. This article presents the outputs from calibrating and validating the CERES-Rice model under the particular conditions of Liberia, in the North Pacific region of Costa Rica. The model was calibrated with pertinent data from the region. The validation analysis of the method consisted of a statistic comparison of recorded regional yields of rice cultivated in dry land and those given by the model. The outputs show an index of agreement of 92%, a correlation coefficient of 92% and a determination coefficient of 84%. The model shows ability to predict the growth and development of the rice crop, providing an opportunity for the rice farmers to improve farm operations. The model could also be a valuable tool to forecast yields and plan commercialization of the product.

cas de modelización y al uso de computadores personales. Modelos que consideran la dinámica del balance de humedad en el suelo relacionándola con los cambios climáticos y los cultivos, han sido desarrollados con la expectativa de asistir a

1/ Recibido para publicación el 31 de marzo de 1997.
2/ Autor para correspondencia.

* Instituto Meteorológico Nacional, Departamento de Agrometeorología. San José, Costa Rica.

los agricultores en sus actividades de investigación y toma de decisiones (Jones 1993, Hoogenboom et al. 1994, Bennett 1995).

El modelo CERES-Rice ha sido desarrollado con la finalidad de simular el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa*), a través de algoritmos con un paso de cálculo diario, que determinan la producción de biomasa, el cálculo de los grados día necesarios para el estímulo de las diferentes fases fenológicas, y con base en las condiciones hídricas, la formación de fotoasimilados y las condiciones climáticas, estimar los rendimientos. Además, le permite al usuario simular los resultados de estrategias alternativas de manejo del cultivo.

El modelo tiene muchos usos potenciales, principalmente en el análisis de los componentes hidrológicos, cuya información permitiría que el sector agrícola tenga acceso a un planeamiento más preciso de actividades tan importantes como la evaluación de aplicaciones de riego donde esta posibilidad esté disponible; la programación del mejor momento para la aplicación de fertilizantes y agroquímicos, de tal manera que la humedad existente en el suelo permita que estos sean aprovechados más eficientemente por el cultivo. Además, puede utilizarse para determinar la mejor época de siembra o de cosecha, al considerar el riesgo de producción bajo determinadas condiciones climatológicas. También puede llegar a constituirse en una herramienta valiosa en el pronóstico de cosechas, con el beneficio de poder programar planes para el mercadeo del producto, alternativas de producción y estrategias de manejo para diferentes sistemas de producción y ambientes, razón por lo cual, sería de mucha ayuda en el planeamiento de la cosecha y la comercialización del producto.

Se ha escrito en lenguaje de programación FORTRAN y opera en computadores personales, siguiendo el formato estándar de los archivos del Sistema de Soporte de Decisiones para la Transferencia de Agrotecnología (DSSAT). Este sistema tiene como función principal, proveer a los usuarios de un manejo apropiado y amigable de la información sobre suelos, clima, cultivo y datos experimentales de diferentes cultivos. Inicialmente la capacidad del DSSAT fue limitada a

10 cultivos, incluyendo 4 cereales (maíz, arroz, sorgo y trigo); 3 leguminosas de grano (frijol, maní y soya); y 3 cultivos de raíz (aráceas, yuca y papa). Luego se agregaron los modelos para mijo y cebada, y recientemente se incluyeron modelos para tomate, caña de azúcar, girasol y banano.

La aplicación de este sistema y del modelo de arroz, permite realizar estudios agrícolas con problemas ambientales o de manejo, con la gran ventaja de que aumenta la ejecución de las decisiones tomadas, al reducir el tiempo y los recursos humanos requeridos en análisis complejos. Estos modelos, que son la integración de conocimientos de varias disciplinas, pueden ser aplicados a una amplia cantidad de situaciones, y por lo tanto, pueden tener un importante rol en los esfuerzos por mantener la sostenibilidad económica del sector agrícola.

Como el modelo CERES-Rice es una simplificación de las interacciones suelo-clima-planta, se requiere que el mismo sea validado con observaciones de campo cuidadosamente medidas, antes de que el mismo pueda ser utilizado en forma práctica.

Este trabajo tiene como objetivo, presentar los resultados de la validación del modelo CERES-Rice llevados a cabo por el Departamento de Agrometeorología del Instituto Meteorológico Nacional, con base en la información obtenida para el cantón de Liberia, con miras a un estudio regional más amplio de la zona arrocería del Pacífico Norte de Costa Rica, dado que el 47% de esta región se dedica al cultivo de arroz de secano (SEPSA, 1993). Sin embargo, antes debe ser calibrado y validado en áreas representativas de la región, con la finalidad de que el mismo pueda ser utilizado en posteriores investigaciones.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizó el modelo de simulación del crecimiento y desarrollo del cultivo de arroz CERES-Rice, incluido en el Sistema de Soporte de Decisiones para la Transferencia de Agrotecnología (DSSAT 3.0), el cual requiere de información climática diaria, información de las características del suelo, información general del cultivo

y de su manejo, así como de las condiciones iniciales (barbecho, humedad del suelo, fertilización, época de siembra, ciclo del cultivo y variedad, entre otros).

Archivo del clima

Los datos de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y media diaria, así como brillo solar para calcular radiación solar neta, fueron suministradas por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Se analizó la serie climática correspondiente al período 1980-96. El análisis del año 1990 fue excluido debido a que fue el período de calibración del modelo.

Archivo del suelo

La información de suelos fue suministrada por el Departamento de Uso y Planificación de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). El tipo de suelo se identificó como un Ustropept (Pérez et al. 1978, Pérez y Van Ginneken 1978). Vásquez (1978) lo clasificó como un Fluventic Ustropept, el cual corresponde a un suelo de color pardo oscuro, con una profundidad promedio de 1.6 m y 7 horizontes.

Archivo del cultivo

La información correspondiente a variedades, fechas de siembra e información fenológica del cultivo se obtuvieron de la Oficina Nacional de Semillas (ONS) y del MAG. La información general del manejo del cultivo y fertilización fue tomada de Monge (1981) y Murillo (1984). Se obtuvo información sobre rendimientos regionales de arroz de secano por medio del Consejo Nacional de Producción (CNP) y a través de la Secretaría Ejecutiva de Planificación del Sector Agrícola (SEPSA). El período analizado fue de 1980-96, en vista de que el análisis se circunscribió al período de utilización del mismo material genético, la variedad CR-1113, cuyas características genéticas se ajustaron a partir de la variedad CICA-8, que de acuerdo a las investigaciones realizadas por la ONS, presenta similitudes con

la variedad CR-1113. Este material fue caracterizada en la Hacienda El Real S.A., ubicada en el cantón de Liberia en cuanto a: días a antesis, días a madurez fisiológica, altura de la planta, resistencia al acame, longevidad foliar, hábito de crecimiento, arquitectura de la planta, desgrane de la panícula, fertilidad de las flores, peso de 100 granos y otras características generales del cultivo (Riggioni 1993).

Método de evaluación del modelo

Para los efectos de validar el modelo se calcularon los siguientes parámetros estadísticos sugeridos por Fox (1981) y Willmott (1982):

- a) El sesgo, el cual puede ser descrito por el error de apartamiento medio (MBE), que corresponde a la diferencia entre el valor medio estimado (\bar{E}) y el valor medio observado (\bar{O}).

$$MBE = n^{-1} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)$$

donde:

n es el número de casos,

E_i es el valor estimado,

O_i es el valor observado,

- b) La variabilidad de (E-O) respecto de MBE (DS²), que puede ser descrita mediante:

$$DS^2 = (n-1)^{-1} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i - MBE)^2$$

donde:

DS² es la varianza de la distribución de las diferencias.

- c) El promedio de las diferencias, que puede ser descrito por:

$$RMSE = \left[n^{-1} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2 \right]^{0.5}$$

donde:

RMSE es la raíz del cuadrado medio del error (MSE).

- d) El error absoluto medio (MAE), que se describe como:

$$MAE = n^{-1} \sum_{i=1}^n |E_i - O_i|$$

- e) La desviación estándar de la variable observada (DS_{E_o}).
- f) La desviación estándar de la variable estimada (DS_{E_e}).
- g) La intercepción (a) y la pendiente (b) de la ecuación de regresión de mínimos cuadrados.

$$\hat{E}_i = a + b O_i$$

- h) Un índice de concordancia (d) como medida descriptiva del buen ajuste del modelo.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i| + |O_i|)^2} \right]$$

donde:

$$0 \leq d \leq 1$$

$$\hat{E}_i = E_i - O$$

$$\hat{O}_i = O_i - O$$

También es importante conocer cuánto del error es de naturaleza sistemática y cuánto no lo es. El error sistemático puede ser descrito como:

$$MSE_s = n^{-1} \sum_{i=1}^n (\hat{E}_i - O_i)^2$$

Mientras que el error no sistemático está representado por:

$$MSE_u = n^{-1} \sum_{i=1}^n (E_i - \hat{E}_i)^2$$

donde: $MSE = MSE_s + MSE_u$

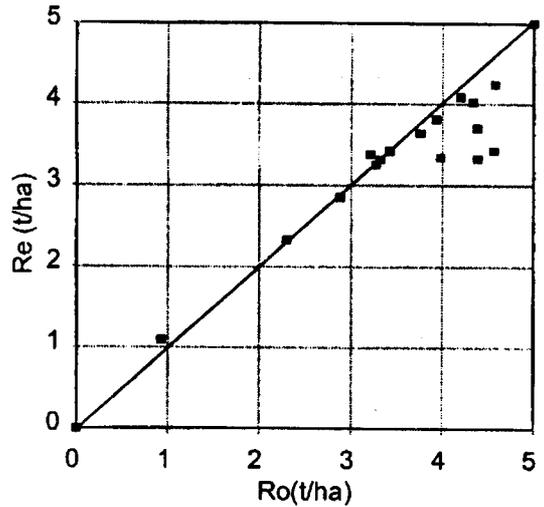


Fig. 1. Rendimiento observado (Ro) y Rendimiento estimado (Re) de arroz de secano, mediante el modelo CERES-Rice. Período: 1980-96.

RESULTADOS

La validación del modelo CERES-Rice y el grado de ajuste que se obtuvo, dependió en buena medida de la calidad de la información que se logró obtener de los principales entes de investigación y política agronómica. La Figura 1 muestra como los datos de rendimiento estimado se agrupan cercanos a la línea de relación 1:1, balanceándose en el valor medio de los valores estimados ($O(\bar{R}_e)$). La desviación estándar de los datos estimados (DS_{R_e}) es menor que la de los datos reales (DS_{R_o}), lo cual representa el grado de agrupamiento y distribución de los datos estimados (Cuadro 1). Los parámetros de regresión "a" y "b" muestran una tendencia del modelo a subestimar los rendimientos cuando se presentan en un rango mayor a 4.0 t/ha. El error absoluto medio (MAE) y la raíz cuadrada del error medio estimado (RMSE) son relativamente pequeños

Cuadro 1. Medidas cuantitativas sobre la evaluación del modelo.

\bar{R}_o	\bar{R}_e	DS_{R_o}	DS_{R_e}	a	b	MAE	RMSE	RMSEs	RMSEU	d	r^2
3.59	3.33	0.94	0.73	0.75	0.72	0.31	0.471	0.368	0.293	0.92	0.84

(cuánto más cercano a cero sea el error, mejor desempeño tiene el modelo). El valor de $RMSE_S$ que representa el error sistemático, no es muy diferente al error no sistemático ($RMSE_U$), sin embargo, la diferencia demuestra que la mayor proporción del error es debida al modelo.

En general, se encontró un 92% de coeficiente de correlación (r), un coeficiente de determinación (r^2) de 84%, que corresponde al porcentaje de las observaciones que son explicadas por el modelo (Cuadro 1), y finalmente, un índice de concordancia (d) de 92%, el cual indica que el modelo presenta un 8% de imprecisión con respecto a lo observado.

Los términos b , d y r^2 son adimensionales; los otros términos tienen unidades de t/ha.

CONCLUSIONES

El modelo CERES-Rice presente en el DSSAT 3.0, ha demostrado ser un modelo operacional y presenta resultados razonables bajo una variedad de condiciones climáticas características del Pacífico Norte de Costa Rica, específicamente de la región de Liberia.

El modelo tiene muchos usos potenciales, principalmente en el análisis de los componentes hidrológicos, la programación del mejor momento para la aplicación de fertilizantes y agroquímicos. También puede llegar a constituirse en una herramienta valiosa en el pronóstico de cosechas, con el beneficio de poder programar planes para el mercadeo del producto, alternativas de producción y estrategias de manejo.

Un sistema de soporte de decisiones como el DSSAT también permite acelerar la ejecución de acciones de interés agrícola, al reducir el tiempo y los recursos humanos necesarios en el análisis de decisiones complejas.

LITERATURA CONSULTADA

- BENNETT, J. 1995. Evaluation and application of rice, soybean and peanut models in Southern India. *In* Applying Crop Models and Decision Support Systems. Alabama, USA. 6 p.
- DENT, J.B.; BLACKIE, M.J. 1979. Systems simulation in agriculture. Applied Science Publishers Ltd. London. p. 1-55.
- FOX, D.G. 1981. Judging air quality model performance. A summary of the AMS workshop on dispersion model performance. *Bulletin American Meteorological Society* 62:599-609.
- HOOGEBOOM, 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.
- IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer). 1994. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT v3.0). Department of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- JONES, J.W. 1993. Decision support systems for agricultural development. *In* Systems Approaches for Agricultural Development. p. 459-471.
- MONGE, L. 1981. Cultivos básicos. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. p. 219-260.
- MURILLO, I. 1984. La producción de arroz en Costa Rica. Sesiones de Actualización y Perspectivas. VI Congreso Agronómico Nacional. San José, Costa Rica. 211 p.
- PEREZ, S.; ALVARADO, A.; RAMIREZ, E. 1978. Asociación de subgrupos de suelos. SEPSA. San José, Costa Rica. Láminas 1:250000.
- PEREZ, S.; VANGINNEKEN, P. 1978. Capacidad de uso del suelo. SEPSA. San José, Costa Rica. Láminas 1:250000.
- RIGGIONI, L. 1993. Descripción de 8 variedades de arroz (*Oryza sativa*). Oficina Nacional de Semillas. San José, Costa Rica. 30 p.
- SEPSA (SECRETARIA EJECUTIVA DE PLANIFICACION SECTORIAL AGROPECUARIA). 1993. Diagnóstico del Sector Agropecuario. San José, Costa Rica. 165 p.
- VASQUEZ, A. 1978. Evaluación de los recursos de tierra y agua con fines de riego. Tomo I. Estudio detallado de suelos y clasificación de tierras de riego. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). San José, Costa Rica.
- WILLMOTT, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society* 63:1309-1313.