

Evaluación del Modelo de Simulación CERES-Maize aplicado a una variedad de maíz en oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia

M. Rivera P.,¹ E. Amézquita C.²

COMPENDIO

El modelo de simulación de crecimiento y producción de maíz (*Zea mays L.*) CERES-Maize bajo DSSATv3.5, se evaluó a nivel del trópico con datos experimentales del ensayo Culticore establecido por CIAT en convenio con Corpoica en el cual se estudiaron sistemas en monocultivo y en rotación con soya, en la Estación Experimental de Carimagua, localizada a 4°30' Latitud Norte y 71°30' Longitud Occidente, ubicada a 160 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 27°C y precipitación anual promedio de 2.200 mm, en suelos bien drenados clasificados como Oxisoles Tropeptic Haplustox, franco arcilloso, Isohypertermico. Inicialmente se ajustaron los seis coeficientes genéticos de la variedad, los cuales se calibraron con base en la experimentación en campo en las localidades de Carimagua, Palmira y Santander de Quilichao. La evaluación del modelo presentó estrecha relación entre lo observado y lo simulado para las principales variables de respuesta. La validación con base en datos del experimento de campo Culticore presentó relación muy estrecha ($r^2 = 0.95$) entre lo observado y lo simulado, lo cual indicó que el modelo explica acertadamente la producción de grano y de biomasa y otros parámetros como las épocas de floración y días a cosecha de la variedad.

Palabras claves: maíz, modelo de crecimiento, CERES-Maize, simulación, calibración.

ABSTRACT

Intensification of agricultural production on the acid-soil savannas of south America (mainly Oxisols) is constrained by the lack of diversity in acid (aluminum) tolerant crop germplasm, poor soil fertility and high vulnerability to soil physical, chemical and biological degradation. The model of simulation of growth and production of maize CERES-Maize DSSATv3.5, was evaluated to level of the Tropic. In 1993, a long-term field experiment was established in Carimagua, Colombia, (4°36'N, 71°19'W and 160 m altitude). The average annual rainfall and temperature are 2200 mm and 26 °C, respectively, with a dry season from December to March in soils well drained have been defined as fine, kaolinitic, Isohyperthermic Haplustox (clay loam soil). In order to study the influence of various systems on soil quality and system productivity on a savanna Oxisol. Initially there adjusted six genetic coefficients of the variety (Sikuani V110), which were calibrated by base in the experimentation in field in the localities of Carimagua, Palmira and Santander de Quilichao. The evaluation of the model presented narrow relation between the observed and the simulated data for the principal variables of response. The validation with base in information of the field experiment Culticore, it presented very narrow relation ($r^2 = 0.95$), between the observed and the simulated data; which indicated, that the model explains good the production of grain and of biomass and other parameters as the epochs of flowering and days to harvest of the variety.

Key words: maize, model of growth, CERES-Maize, simulation, calibration.

INTRODUCCIÓN

El modelo de simulación CERES-Maize validado en este trabajo fue desarrollado por un grupo multidisciplinario de investigación (Godwin y Jones, 1991) de la Universidad de Florida, y es considerado como una herramienta de apoyo en el manejo y en la toma de

decisiones sobre estrategias de manejo, riego, control de plagas y enfermedades en este cultivo.

La evaluación del modelo de simulación CERES-Maize para la variedad de maíz (*Zea mays L.*) Sikuani V-110, bajo DSSAT v3.5 en Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia, permite ajustar la información generada a través de los hallazgos de investigación en países de la zona templada. Su comprensión cuantitativa es importante en nuestro medio para la planeación y el desarrollo de actividades de investigación y de transferencia de tecnología. La utilización apropiada del modelo puede eventualmente reducir los costos y el número de ensayos, y permite además efectuar selec-

1. Candidata a Magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. m.rivera@cgiar.org.

2. Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT. A.A. 613. Cali - Colombia.

ción de materiales más apropiados. Así mismo, es útil para el estudio de áreas donde se carece de información y en la generación de hipótesis como base para el diseño de nuevos ensayos en el campo.

Dada la importancia del cultivo de maíz en el país, el trabajo se orientó a evaluar el modelo de simulación de crecimiento CERES-Maize bajo DSSAT v3.5 utilizando las variables de crecimiento, desarrollo y producción de la variedad de maíz Sikuaní V-110, tolerante a suelos ácidos en Oxisoles de los Llanos Orientales y a verificar su validez, utilizando datos experimentales obtenidos en diferentes épocas y en las mismas condiciones ambientales.

METODOLOGÍA

El modelo de crecimiento y desarrollo de maíz CERES-Maize v3.5

Es un modelo predictivo, determinístico, diseñado para simular el crecimiento del maíz, la dinámica de N en el suelo, el comportamiento del agua y la temperatura a escala de campo durante un período de crecimiento. El modelo se usa en investigación básica y aplicada en los efectos de clima (régimen térmico, estrés de humedad) y manejo (prácticas de fertilización, riego), en el crecimiento y producción de maíz. También se utiliza para evaluar prácticas de fertilización nitrogenada tanto en la extracción como en la lixiviación de N en el suelo y en investigación en el cambio climático global para evaluar los efectos potenciales del calentamiento debido al incremento del CO₂ y los cambios en precipitación y uso eficiente del agua. La producción potencial de materia seca se calcula como función de la radiación, el índice de área foliar y factores de reducción por temperatura y estrés de humedad. Los estados fenológicos son simulados con base principalmente en grados-día (°C d). La tasa de crecimiento de hojas y de tallos se calcula dependiendo de los estados fenológicos. Rutinas separadas calculan el balance de agua, incluyendo escorrentía, infiltración, flujo de agua en saturación y no-saturación y drenaje. Las dinámicas de N mineral y N disponible para el cultivo también se calculan. Los datos usados como entradas incluyen variables climáticas, variables de manejo, coeficientes genéticos para el cultivo y parámetros de suelo. El modelo provee información de materia seca y contenido de N en raíces, parte aérea y grano, balance de agua y N mineral en el suelo.

La estructura matemática del modelo está constituida por ecuaciones diferenciales y escrito en Fortran IV, permite intervalos de un día (Godwin y Jones, 1991)

en una serie de rutinas para la simulación de procesos y eventos manejados por la subrutina CROP (Bowen y Baethgen, 1998).

El componente N de los modelos no está diseñado para operar independientemente, pero sí como parte de los modelos CERES. Estos modelos pueden correrse con un conjunto de opciones para simular la condición en la cual el N no es limitante (Godwin y Jones, 1991). El modelo CERES-Crop describe evapotranspiración, balance de agua en el suelo y la manera como en el desarrollo del cultivo influyen la temperatura y el fotoperíodo, el crecimiento vegetativo de las raíces y del grano. Los componentes de N en el modelo son: la mineralización y/o inmovilización asociada con la descomposición de los residuos, la nitrificación, la denitrificación, la hidrólisis de la urea, la lixiviación de nitratos, la extracción y uso de N por el cultivo.

Evaluaciones y mediciones

Se trabajó con cuatro períodos de cultivo (1994, 1995, 1996 y 1997), con registro diario de datos climáticos como temperatura máxima y mínima (°C), radiación solar (MJ/m²) y precipitación (mm). Durante los ciclos de cultivo no se aplicó riego.

Se sembró la variedad de maíz Sikuaní V-110 en monocultivo y en rotación con soya, dispuestos en bloques al azar, con cuatro repeticiones. Las unidades experimentales estaban definidas por tres marcos de 1 m² por cada repetición. Se cosecharon todas las plantas en 1 m² de terreno por parcela, y con frecuencia semanal, durante el ciclo del cultivo, separando sus diferentes componentes; los cuales se secaron a estufa a 60°C hasta obtener un peso constante.

Se efectuaron evaluaciones fenológicas y de producción. La producción se cuantificó por las siguientes variables: número de plantas cosechadas, peso seco de biomasa aérea, peso seco de semilla, número de granos /m², número de granos/mazorca. Además se determinaron días a floración y a madurez fisiológica, contenido de N en diferentes componentes del cultivo, índice de área foliar e índice de cosecha. Para evaluar el modelo se utilizaron datos experimentales independientes al de la calibración de los coeficientes genéticos, realizado en Carimagua. También se utilizaron datos climáticos de 1994, 1995, 1996 y 1997 de la estación experimental de Carimagua (Orinoquia).

La entrada de los registros al modelo CERES-Maize se realizó mediante un paquete computarizado llamado "Sistema de Apoyo a Toma de Decisiones en

Transferencia de Agrotecnología” DSSAT (IBSNAT Project., 1989).

Para la evaluación del modelo CERES-Maize se utilizaron los resultados obtenidos en experimentos a largo plazo con la variedad Sikuni V-110 realizados en los Llanos Orientales, para determinar coeficientes específicos de cultivos tolerantes a suelos ácidos y utilizados en la región (Tabla 1). El modelo se corrió para cada ciclo del cultivo y se obtuvieron simulaciones diarias, que luego se compararon con los valores observados.

Tabla 1. Descripción de coeficientes genéticos que caracterizan la variedad de maíz Sikuni V110 en los Llanos Orientales.¹

Coefficientes genéticos	Descripción
P1: 320	Tiempo térmico (°Cd) desde emergencia hasta el final de la fase juvenil.
P2: 3.0	Tiempo (d) en el cual el desarrollo se retrasa por cada hora de incremento del fotoperiodo.
P5: 750	Tiempo térmico (°Cd) desde floración femenina hasta madurez fisiológica.
G2: 500	Máximo número de granos por planta.
G3: 7.7	Tasa de llenado de grano en condiciones óptimas (mg d ⁻¹)
PHINT:75.0	Intervalo (°Cd) entre la aparición de las prefoliaciones

¹/ Samira Daroub, Reporte presentado a CIAT, noviembre 25 de 1997

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapas de crecimiento y desarrollo

En la [Tabla 2](#) se comparan los resultados para componentes del cultivo y desarrollo fenológico, entre los datos observados y los datos simulados por el modelo CERES-Maize en el sistema maíz monocultivo, desde 1994 hasta 1997. En la prueba de correlación entre valores observados y simulados se encontraron coeficientes altos (Pearson), con buenas estimaciones para producción de grano de maíz (15% de humedad) en todos los años excepto para 1995 donde ocurrió una sub-estimación. En cuanto a la estimación de la biomasa aérea fue buena en todos los años ($\pm 20\%$); es de anotar que en estos sistemas no se presentaron problemas severos de malezas.

La [Figura 1](#) muestra las etapas de crecimiento del cultivo del maíz en monocultivo y en rotación con soya; además la producción de grano y de biomasa aérea de los datos observados y simulados durante 1994. Se realizaron simulaciones para 1995, 1996 y 1997.

Concentración de nitratos en el perfil del suelo

Las [Figuras 2, 3 y 4](#) muestran el comportamiento de la concentración de nitratos (kg ha⁻¹) tanto observados como simulados en los sistemas maíz monocultivo, maíz en rotación con soya y sabana nativa, por horizonte y en el perfil de suelo de 0 a 100 cm de profundidad, desde 1994 hasta 1996. Los resultados subestimaron la concentración de nitratos en los sistemas maíz monocultivo y maíz en rotación con soya y los sobreestimaron en sabana nativa.

Tabla 2. Comparación de valores para las variables observadas y simuladas mediante el modelo CERES-Crop de la variedad de maíz Sikuni V-110 en monocultivo desde 1994 hasta 1997. Carimagua, Llanos Orientales de Colombia.

Variables	1994		1995		1996		1997	
	Observado	Simulado	Observado	Simulado	Observado	Simulado	Observado	Simulado
Días a floración (dds ¹)	64	58	61	60	60	61	62	68
Madurez fisiológica (dds)	119	111	121	111	110	113	112	111
Producción de grano (kg ha ⁻¹)	2574	2763	4411	2966	3369	3490	2596	3394
Peso por grano (g)	-	0.23	-	0.23	-	0.23	0.32	0.23
No granos/m ² (No)	-	1167	-	1284	-	1514	1461	1152
No granos/mazorca (No)	-	448.7	-	256.7	-	216	407	264
Biomasa a cosecha (kg ha ⁻¹)	5296	6268	8839	8986	6900	9726	6974	7325
Tallos a cosecha (kg ha ⁻¹)	2722	3505	4428	6019	3369	6236	3559	3602
Índice de cosecha (kg)	0.49	0.44	0.50	0.33	0.49	0.36	0.38	0.46
No final de hojas (No)	-	20.2	-	21.2	-	20.7	18.0	17.4
N-grano (kg ha ⁻¹)	38.8	41.4	39.1	45.0	58.2	59.3	39.8	54.3
N-biomasa (kg ha ⁻¹)	80.7	71.0	82.7	84.4	80.0	97.1	82.1	76.2
N-semilla (%)	1.51	1.50	1.59	1.73	2.01	1.73	1.51	1.62
Correlación (Pearson)	0.95		0.99		0.94		0.98	

¹ dds: días después de siembra

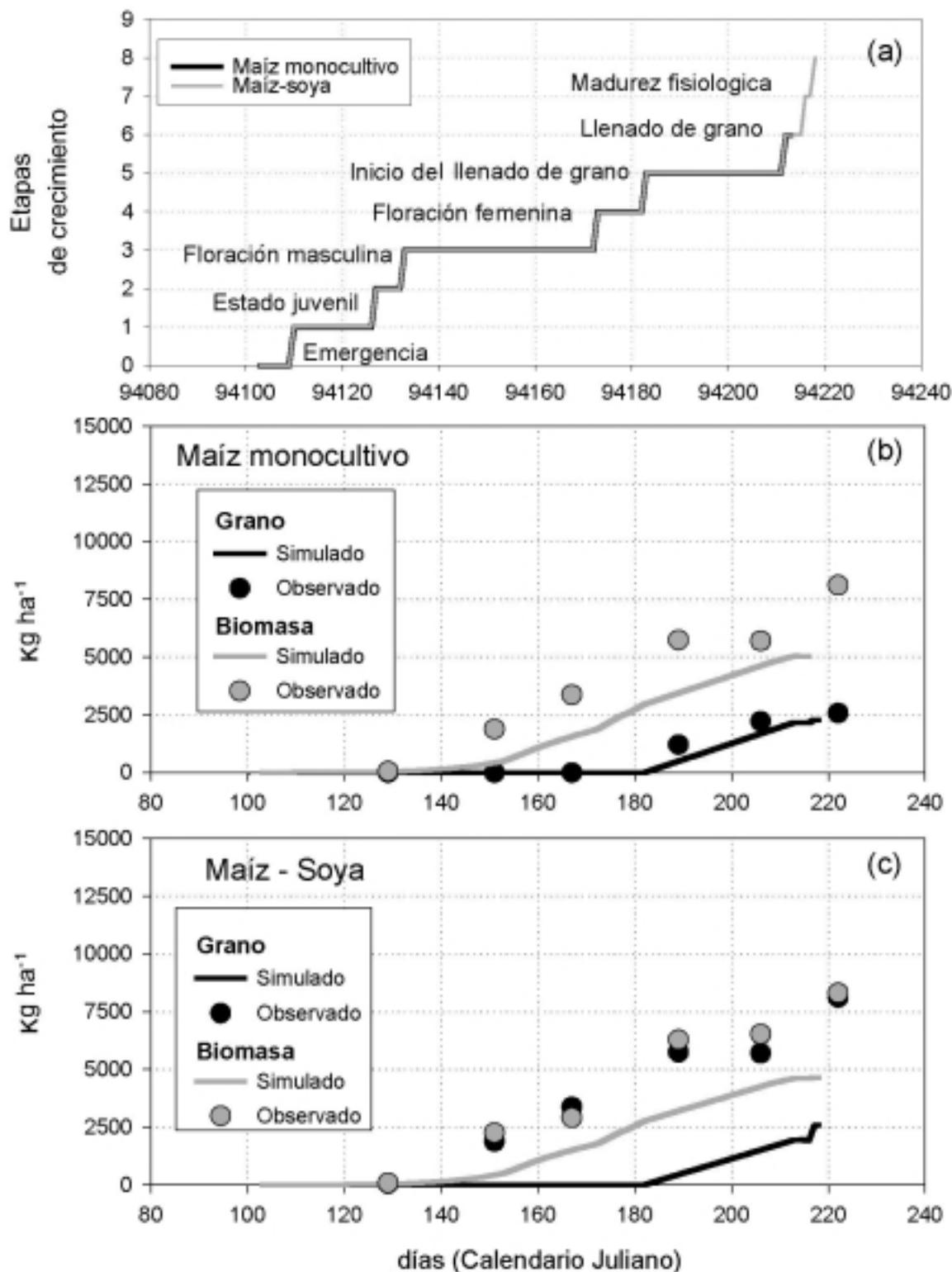


Figura 1. a) Etapas de crecimiento observadas en maíz monocultivo y en maíz en rotación con soya, y valores observados y simulados para la producción de grano y biomasa aérea (kg ha⁻¹) en los sistemas. b) Maíz monocultivo. c) Maíz en rotación con soya. 1994, Carimagua, Llanos Orientales de Colombia.

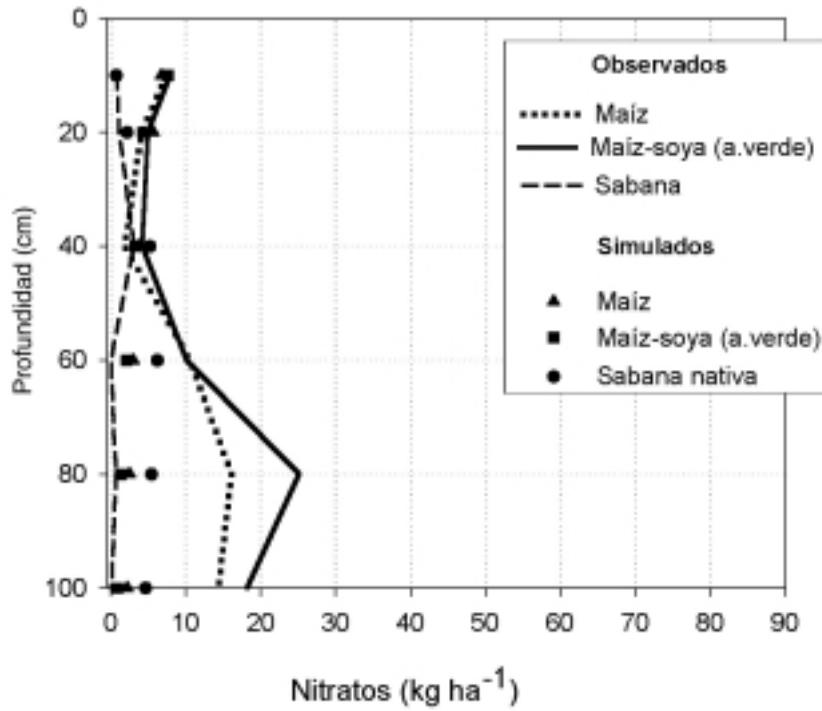


Figura 2. Valores observados versus valores simulados para contenido de nitratos (NO₃) (kg ha⁻¹) de 0 a 100 cm de profundidad, en los sistemas de producción. Carimagua, Llanos Orientales de Colombia. Abril de 1994.

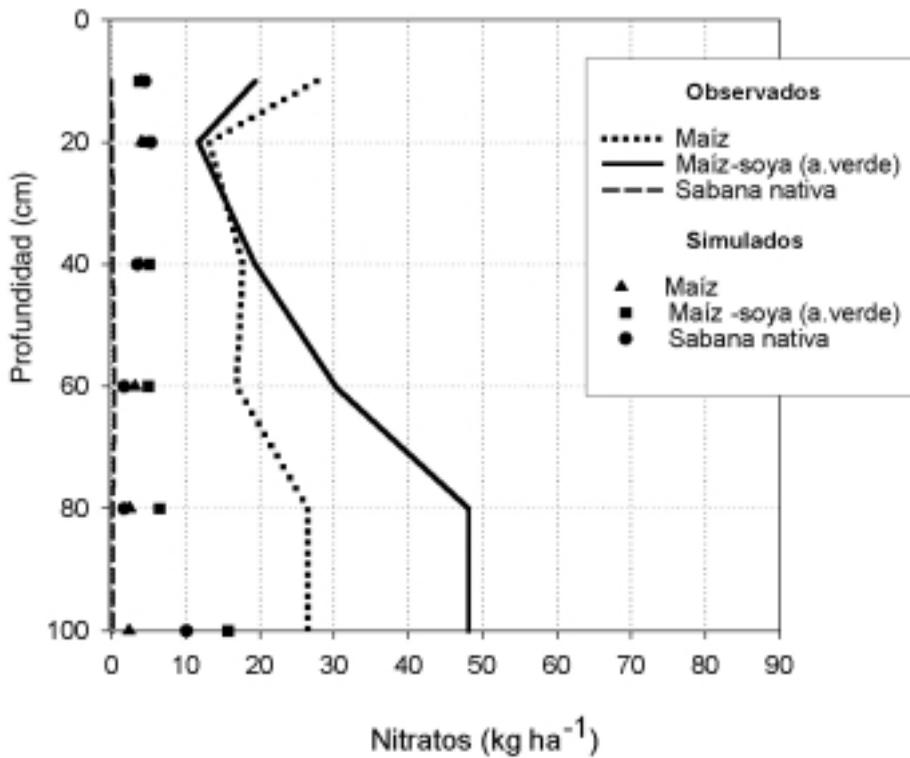


Figura 3. Valores observados versus valores simulados para contenido de nitratos (NO₃) (kg ha⁻¹) de 0 a 100 cm de profundidad, en los sistemas de producción. Carimagua, Llanos Orientales de Colombia. Abril de 1995.

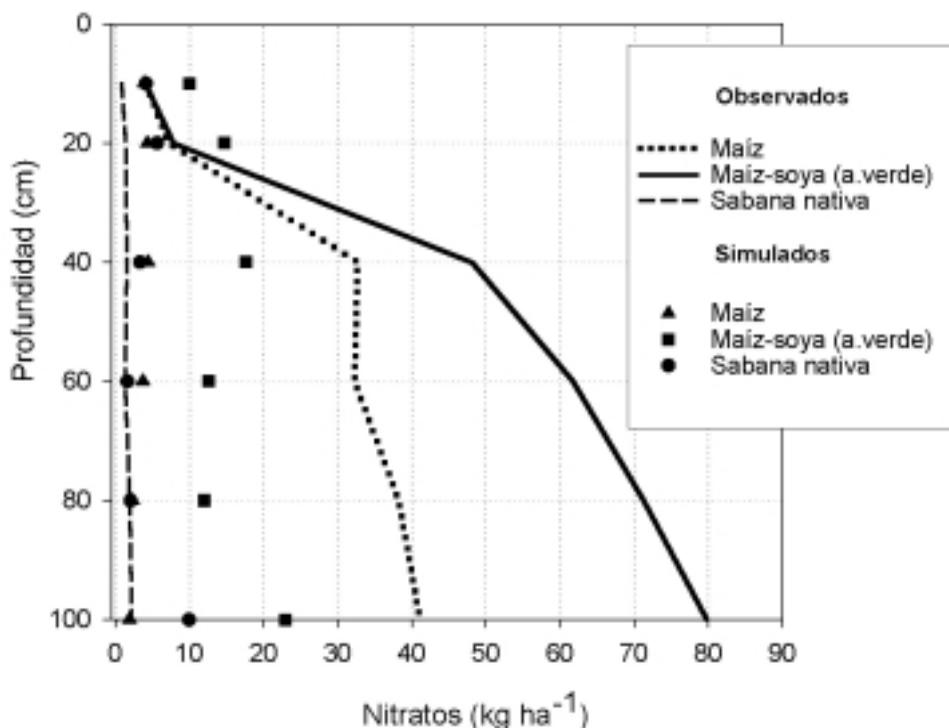


Figura 4. Valores observados versus valores simulados para contenido de nitratos (NO_3^-) (kg ha^{-1}) de 0 a 100 cm de profundidad, en los sistemas de producción. Carimagua, Llanos Orientales de Colombia. Abril de 1996.

CONCLUSIONES

- El modelo CERES-Maize simuló bien la producción de grano y de biomasa respecto a los datos observados.
- El modelo no simuló la concentración de nitratos. La concentración y los flujos de nitrógeno mineral en el perfil del suelo fue subestimada.
- Para el óptimo funcionamiento de los modelos se deben tener en cuenta las variables que afectan los rendimientos como plagas, enfermedades y malezas.
- Es importante profundizar en la información sobre los suelos. Se deberían incluir registros periódicos que hagan más dinámicos los procesos que allí ocurren. Además, que contengan más variables (ejemplo, tipo de arcilla, coeficientes de adsorción, entre otros).

BIBLIOGRAFÍA

- Bowen, WT; Baethgen, WE. 1998. Simulation as a tool for improving nitrogen management. *En* Tsuji GY; Hoogenboom G; Thornton PK (eds). *Understanding Options for Agricultural Production. Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development. Vol. 7.* Dordrecht: Kluwer Academic. pp.189-204.
- Daroub, S; Ritchie, J; Gerakis, A; Wood, S; Rivera, M; Rao, IM; Thomas, R; Friesen, D. 2000. Compile data bases to feed into simulation models and decision support systems. *Centro Internacional de Agricultura Tropical, Annual Report 2000.* Palmira, Colombia. pp.115-122.
- Godwin, DC; Jones, AC. 1991. Maize Phasic Development. *En* Hanks, J; Ritchie, JT (eds). *Modeling Plant and Soil Systems. Agronomy* 31. Wisconsin, USA. pp.55-69.
- International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer. 1989. Experimental design and data collection procedures for IBSNAT. The minimum data sets for systems analysis and crop simulation and crop simulation 3rd ed. rev. University of Hawaii, p 70. (Technical Report 1).