

Aplicación del modelo CERES para la simulación de los perfiles de humedad y de nitratos en el suelo bajo cultivo de trigo

M. Quemada¹, M. Guibert¹ y J.J. López².

1. Departamento de Producción Agraria, Universidad Pública de Navarra. Campus de Arrosadía. 31006-Pamplona; mquemada@unavarra.es
2. Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural, Universidad Pública de Navarra; jjlr@unavarra.es

RESUMEN. En este trabajo se estudia la capacidad del modelo CERES para simular los perfiles de humedad y concentración de nitratos recogidos durante un ciclo de cultivo de trigo en Arazuri, Navarra. Los tratamientos recibidos por las parcelas en las que se probó el modelo son: a) lodo de depuradora, b) lodo de depuradora más nitrato amónico, c) sólo nitrato amónico, d) testigo. Se realizó un seguimiento de los contenidos de humedad y nitratos en el perfil del suelo (0-90 cm) y del nitrógeno mineral en el horizonte superficial. Así mismo se realizó un seguimiento del N absorbido por el cultivo. El modelo CERES predice razonablemente bien los perfiles de humedad de los suelos; sin embargo, mientras que simuló adecuadamente los perfiles de contenido de nitratos del testigo, no ocurrió lo mismo en los tratamientos con fertilización nitrogenada donde los perfiles de nitratos simulados se ajustaron peor a los observados. Las desviaciones entre valores simulados y observados parecen deberse a que el modelo no predice adecuadamente la cantidad de N inorgánico acumulada en el horizonte superficial del suelo. Presumiblemente, una mejora de la estimación de las pérdidas gaseosas y del N mineralizado de la materia orgánica mejoraría la simulación del lavado de nitratos.

ABSTRACT. The ability of the CERES model to simulate the nitrate concentration and moisture soil profiles measured along the cycle of a wheat crop placed in Arazuri, Navarra, has been analysed in this work. The applied treatments on the experimental plots were: a) organic amendment, b) organic amendment with NH_4NO_3 application, c) NH_4NO_3 application only, and d) control. The moisture content and the nitrate concentration were measured along the soil profile (0-90 cm) and the inorganic nitrogen in the upper layer. The nitrogen absorbed by the crop was also measured. CERES model predicts quite well the moisture soil profiles; however, even if the nitrate profiles in the control plot are correctly predicted, the simulated nitrate profiles in treated plots fit worse to the observed data. This disagreement between simulated and observed data could be explained because the model does not predict correctly the amount of accumulated inorganic nitrogen in the upper soil layer. Probably, an improvement of the estimation of gaseous losses and nitrogen mineralized of the organic mater would improve the nitrate losses

simulation.

1.- Introducción.

El uso de modelos de simulación puede ser de gran utilidad para predecir el impacto de las prácticas agrarias sobre el medio ambiente. En concreto, la lixiviación de nitratos se puede predecir con un margen de error aceptable siempre que se consiga simular adecuadamente el movimiento del agua en el suelo y la cantidad de N inorgánico que se acumula en el horizonte superficial. En este trabajo se estudia la capacidad del modelo CERES (DSSAT v3, 1994) para simular la acumulación de N inorgánico en el horizonte superficial así como los perfiles de humedad y concentración de nitratos del suelo en un cultivo de cereal de secano bajo las condiciones de un clima mediterráneo subhúmedo. Para ello se utilizan los datos recogidos en un ensayo de campo en el que se cultivó trigo (*Triticum aestivum* L.) bajo distintas combinaciones de fertilización orgánica e inorgánica en Arazuri, localidad situada en la zona media de Navarra con una pluviometría próxima a los mil mm.

2.- Métodos.

En el ensayo de campo se distribuyeron doce parcelas (6 x 9 m²) sembradas con trigo (1/11/96) en cuatro tratamientos diferentes: a) 80 Mg ha⁻¹ de lodo de depuradora, b) 80 Mg ha⁻¹ de lodo de depuradora más 160 kg N ha⁻¹ de NH_4NO_3 , c) 160 kg N ha⁻¹ de NH_4NO_3 , y d) testigo. El lodo de depuradora se aplicó el 20 de septiembre siendo enterrado en los primeros 30 centímetros del suelo mediante un arado de vertedera. El NH_4NO_3 se aplicó en dos coberturas, la primera el 17 de febrero (100 kg N ha⁻¹) y la segunda el 20 de marzo (60 kg N ha⁻¹). Se tomaron muestras de suelo de los primeros 20 cm una vez al mes, y de los horizontes 40-50 cm y 80-90 cm una vez cada dos meses. En los extractos de las muestras de los 30 primeros centímetros se determinaron NH_4^+ y NO_3^- , mientras que en los extractos de las muestras más profundas se determinó sólo el contenido de NO_3^- . La extracción de N inorgánico del suelo se realizó con KCl 1M, determinándose el NO_3^- por el método de

Nicholas y Nason (1975) y el NH_4^+ por el método de Solorzano (1969). El contenido de humedad fue determinado en todas las muestras de suelo por el método gravimétrico. Para estimar la cantidad de N absorbida por el cultivo en los momentos del ahijamiento, encañado y cosecha, se determinó el contenido de N en el material vegetal proveniente de muestras de cultivo de 1 m cortadas a ras de suelo y secadas (48h, 65°C). Una descripción más detallada del ensayo puede encontrarse en Lasa *et al.* (1997a).

CERES es un modelo unidimensional diseñado para estudiar el balance de agua y los ciclos de C y N en secciones verticales de un sistema de cultivo. Incluye submodelos que simulan el balance de agua, ciclos de C y N en el suelo, transporte de nitratos y crecimiento del cultivo utilizando un paso temporal de 1 día. El submodelo de balance de agua divide el suelo en una serie de horizontes homogéneos (hasta 10), estando cada uno de ellos caracterizado por su contenido de agua de saturación, capacidad de campo y punto de marchitez. La cantidad de agua infiltrada se calcula como la diferencia entre el agua aportada (lluvia o riego) y la de escorrentía, calculada mediante el método del número de curva. El movimiento descendente del agua en el suelo sigue un flujo de pistón, de forma que cuando la cantidad de agua de un horizonte es superior a su valor de capacidad de campo el agua sobrante pasa instantáneamente al horizonte inferior. La evapotranspiración potencial se calcula a partir de datos diarios de radiación solar, y temperaturas máxima y mínima ambiental (Ritchie, 1972). La evapotranspiración real se obtiene modificando la potencial, según sea el desarrollo de área foliar, y la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales. Finalmente, la ascensión capilar de agua en el suelo se simula mediante una ecuación semiempírica.

El submodelo del ciclo de C y N en el suelo distingue entre dos fuentes de materia orgánica: una de fácil descomposición y otra más estable o humus. La primera incluye las aportaciones de residuos vegetales y de estiércoles y su velocidad de mineralización máxima depende de su relación C/N. La segunda tiene una C/N igual a 10 y una velocidad máxima de mineralización predeterminada. La velocidad real de mineralización se obtiene modificando la máxima según las condiciones de humedad y temperatura del suelo de cada día. El modelo calcula igualmente tasas de nitrificación y desnitrificación diarias, obtenidas a partir de una tasa máxima modificada según las condiciones de humedad y temperatura del suelo así como las concentraciones de amonio y nitratos.

El transporte de nitratos en el suelo sigue un modelo de pistón paralelo al del agua, en el que se asume que la cantidad de nitrato que llega a un horizonte se mezcla instantáneamente con el que hay ya presente. No se consideran fracciones de agua de diferente movilidad y por lo tanto tampoco se incluye un factor de difusión.

En nuestro estudio el modelo CERES se corrió desde Septiembre-96 hasta Junio-97, utilizando como condiciones iniciales los perfiles de humedad y contenido de N

inorgánico del suelo observados en el primer muestreo de campo. La aplicación del lodo de depuradora se simuló como si se hubiese aplicado un estiércol fresco de características similares (C/N = 10,5). Los resultados del modelo se compararon con los datos recogidos en las mediciones de campo.

3.- Resultados.

No se observan diferencias significativas entre los perfiles de humedad del suelo de los distintos tratamientos. Los perfiles de humedad simulados por CERES son muy similares a los observados, a pesar de que el modelo subestima el contenido de agua en la parte inferior del suelo en Junio (Fig.1).

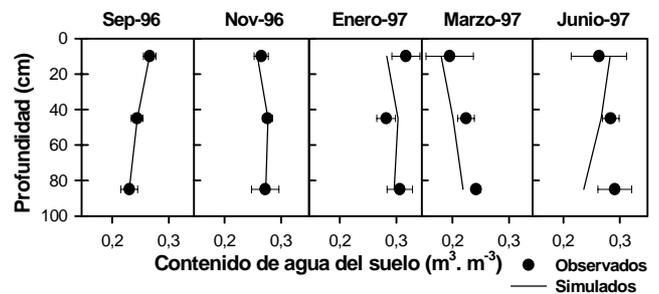


Fig.1. Perfiles del contenido de humedad del suelo en los distintos muestreos.

En el tratamiento que recibió lodo se acumuló mayor cantidad de N inorgánico en el horizonte superficial que en el tratamiento testigo (Fig. 2); sin embargo, la aplicación de NH_4NO_3 produjo una mayor acumulación de N inorgánico en primavera en las parcelas que no habían recibido lodo que en aquellas que si lo habían hecho, debido a que la aplicación de la enmienda orgánica favoreció las pérdidas de nitrato por desnitrificación (Lasa *et al.*, 1997b).

El modelo CERES es capaz de predecir las tendencias observadas en campo para los tratamientos testigo y lodo, sin embargo, subestima la cantidad de N inorgánico acumulada en el horizonte superficial del suelo durante el otoño en ambos tratamientos, así como el incremento de N inorgánico observado en el suelo al inicio de primavera. Estos resultados sugieren que el modelo subestima la cantidad de N mineralizado tanto de la materia orgánica estable del suelo como de la aplicada en forma de lodo. El modelo sobrestima la cantidad de N inorgánico acumulado en el horizonte superficial del suelo en el tratamiento que recibió lodo más NH_4NO_3 (Fig. 2), lo cual puede ser debido a una subestimación de las pérdidas gaseosas y/o de la inmovilización de N.

Los perfiles de contenido de nitrato simulados por el modelo son similares a los observados para el tratamiento testigo (Fig. 3). Para el tratamiento que recibió lodo se produjo una subestimación del lavado de nitratos en todos los perfiles excepto en el del mes de enero (Fig. 4). Esta

subestimación es probablemente una consecuencia de lo comentado en el párrafo anterior, que el modelo subestimó la acumulación de N inorgánico en el suelo después de la aplicación de lodo. Sin embargo, en los tratamientos que recibieron NH_4NO_3 el modelo sobrestima la cantidad de nitratos en el perfil (Fig. 3 y 4), lo cual concuerda con la sobrestimación del N inorgánico acumulado en el horizonte superficial que se ha comentado anteriormente para estos tratamientos.

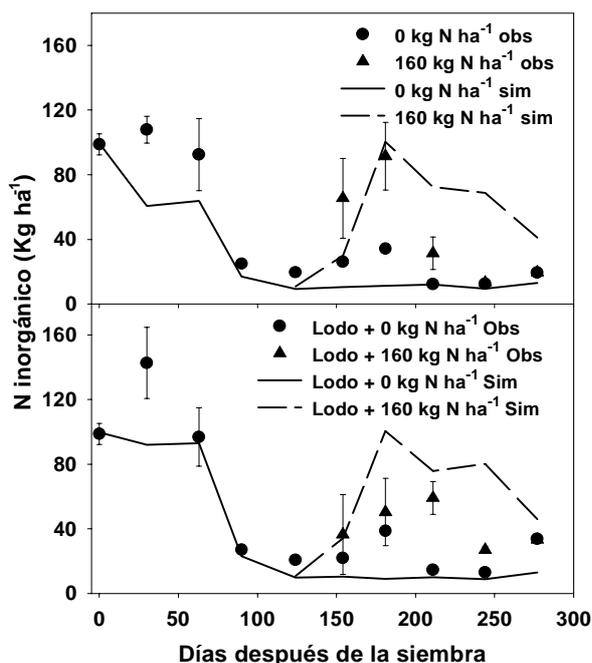


Fig. 2. Contenido de N inorgánico en el horizonte superficial (30 cm).

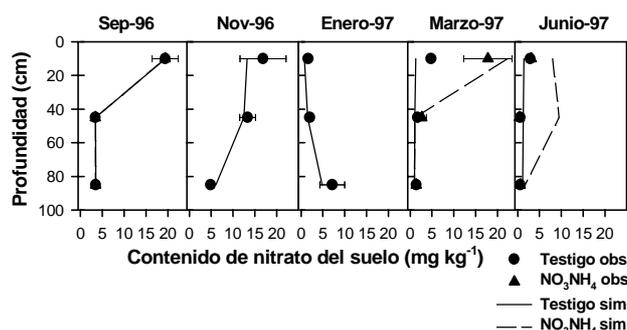


Fig. 3. Perfiles de contenido de NO_3^- -N en el suelo del testigo y del tratamiento que recibió nitrato amónico.

La cantidad de N absorbida por el cultivo es subestimada en los tratamientos testigo y lodo a partir de marzo (Tabla 1), debido probablemente a que el modelo subestima la acumulación de N inorgánico en el horizonte superficial. En los tratamientos que recibieron NH_4NO_3 se produce una sobrestimación del N absorbido por el cultivo, nuevamente relacionada con la sobrestimación del N inorgánico

acumulado en el horizonte superficial del suelo.

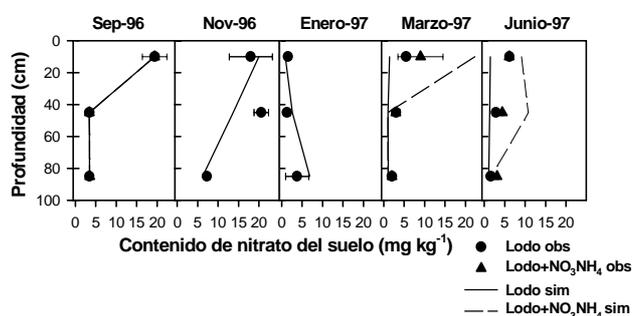


Fig. 4. Perfiles de contenido de NO_3^- -N en el suelo de los tratamientos que recibieron lodo y lodo más nitrato amónico.

Tabla 1. Nitrógeno absorbido por el cultivo en los distintos muestreos.

TRATAMIENTO	NITRÓGENO ABSORBIDO (kg N ha^{-1})					
	2-Febrero		17-Marzo		30-Junio	
	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim
0 kg N ha ⁻¹	21 ± 3	44	57 ± 21	48	73 ± 4	59
160 kg N ha ⁻¹	21 ± 3	44	69 ± 2	74	101 ± 6	128
Lodo + 0 kg N ha ⁻¹	25 ± 3	55	85 ± 8	63	96 ± 15	75
Lodo + 160 kg N ha ⁻¹	25 ± 3	55	154 ± 22	82	136 ± 6	144

4.- Discusión.

Algunos autores han observado que el submodelo de balance de agua de CERES tiene una estructura excesivamente simple, lo que hace que no simule adecuadamente el movimiento de agua en el suelo (Gabrielle *et al.*, 1995). Sin embargo, en nuestro caso el modelo simuló razonablemente bien los perfiles de contenido de humedad, al igual que han observado otros autores (Comerma *et al.*, 1985).

El hecho de que el submodelo de transporte de nitratos no considere fracciones de agua de diferente movilidad ni un factor de difusión para el anión, ha sido considerado como una limitación importante del modelo (Gabrielle *et al.*, 1996), especialmente para su aplicación a suelos de cargas variables con elevada capacidad de intercambio de aniones (Bowen *et al.*, 1993). En nuestro caso el modelo simuló con bastante precisión los perfiles de contenido de nitratos del testigo, lo que hace pensar que las limitaciones comentadas anteriormente no son relevantes. Sin embargo, en los tratamientos con fertilización nitrogenada (bien orgánica o inorgánica) los perfiles de nitratos simulados se ajustaron peor a los observados.

Por lo tanto, en nuestro caso las principales fuentes de error parecen venir del submodelo que simula el ciclo de C y N en el suelo. Las diferencias entre los resultados del modelo y los datos observados de la cantidad de N inorgánico acumulado en el horizonte superficial, se traducen en una deficiencia de la simulación de los perfiles

de contenido de nitratos. Los principales aspectos en los que habría que trabajar para mejorar la actuación de este submodelo son: a) estimación más adecuada de las tasas de mineralización del humus del suelo y de los fertilizantes orgánicos y b) mejora en la simulación de las pérdidas gaseosas. Críticas similares a las mencionadas en este apartado han sido realizadas por otros autores (Bowen *et al.*, 1993; Gabrielle *et al.*, 1996; Quemada *et al.*, 1997), que coinciden en resaltar la importancia de simular con acierto el ciclo del N en los horizontes superficiales para poder predecir adecuadamente la lixiviación de nitratos.

Es importante destacar que una gran ventaja del modelo CERES es que al estudiar el conjunto suelo-planta, considera los distintos factores que afectan al movimiento del agua y del nitrógeno en los sistemas de cultivo.

5.- Conclusiones.

El modelo CERES predice razonablemente bien los perfiles de humedad de los suelos; sin embargo, mientras que en el tratamiento testigo los perfiles de contenido de nitratos simulados son similares a los observados, en los tratamientos con fertilización nitrogenada los perfiles de nitratos simulados se ajustaron peor a los observados. Las desviaciones observadas entre valores simulados y observados parecen deberse a que el modelo no predice adecuadamente la cantidad de N inorgánico acumulada en el perfil superficial del suelo. Presumiblemente, una mejora de la estimación de las pérdidas gaseosas y del N

mineralizado de la materia orgánica mejoraría la simulación del lavado de nitratos.

Referencias.

- Bowen WT, Jones JW, Carsky, RJ y Quintana JO. 1993. Evaluation of the nitrogen submodel of CERES-Maize following legume green manure incorporation. *Agron. J.* 85: 153-159.
- Comerrma J, Guenni L y Medina G. 1985. Validación del balance hídrico del modelo Ceres-Maiz en la zona de Maracay, estado Aragua-Venezuela. *Agron. Trop.* 35: 115-132.
- Tsjui, G.Y., G. Uehara and S. Balas (eds.). 1994. *DSSAT v3*. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Gabrielle B, Menasseri S y Houot S. 1995. Analysis and field evaluation of the Ceres models water balance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1403-1412.
- Gabrielle B y Kengni L. 1996. Analysis and field evaluation of the Ceres model's soil components: nitrogen transfer and transformation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 142-149.
- Lasa B, Quemada M, Lamsfus C y Aparicio-Tejo P. 1997a. Application of sewage sludge in a cereal/legume rotation: N fate and effect of DCD. *Trends in Agronomy*, 1: 121-133.
- Lasa B, Quemada M, Frechilla S, Muro J, Lamsfus C y Aparicio-Tejo P. 1997b. Effect of digested sewage sludge on the efficiency of N-fertilizer applied to barley. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 48: 241-246.
- Nicholas DJD y Nason A. 1957. Determination of nitrate and nitrite. *Methods Enzymol.* 3: 981-984.
- Quemada M, Cabrera ML y McCracken DV. 1997. Nitrogen release from surface-applied cover crop residues: evaluating the CERES-N submodel. *Agron. J.* 89: 723-729.
- Ritchie JT. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resour. Res.* 8: 1204-1213.
- Solorzano L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by phenolhypochlorite medium. *Limnol. Oceanogr.* 14: 799-801.