

Simulación de la productividad y dinámica del agua y N en cultivo de pimiento bajo invernadero con EU-ROTATE_N.

M. Gallardo,¹, F. Soto,¹, C. Giménez², C. Martínez-Gaitán,¹ y R.B. Thompson.¹

¹Departamento de Producción Vegetal, Universidad de Almería.

²Departamento de Agronomía, Universidad de Córdoba.

e-mail: mgallard@ual.es

Palabras-clave: *Capsicum annum*, modelos, lixiviación nitratos, nitrógeno, fertirriego

Resumen

En este trabajo se ha realizado la calibración del modelo de simulación EU-ROTATE_N para cultivo de pimiento en invernadero de plástico del sureste español. La calibración se realizó con datos de un ciclo de pimiento en invernadero de plástico sin control activo del clima, suelo enarenado y bajo un sistema de manejo del fertirriego convencional en la zona. Las variables estudiadas han sido, la producción de materia seca, la extracción de N, la evapotranspiración, el drenaje, la lixiviación de nitratos y la dinámica del agua y el N en suelo y planta durante el ciclo de cultivo. En este estudio se ha evaluado la bondad del modelo para simular cosechas múltiples y su comportamiento en suelos enarenados con un componente evaporativo muy bajo. El modelo presentó un buen comportamiento en la simulación de las variables estudiadas siendo los errores comedios inferiores a 14% de los valores medidos. Una vez calibrado y validado, el modelo EU-ROTATE_N se usará para analizar escenarios de manejo del fertirriego y definir las mejores estrategias de fertirriego en este sistema de cultivo desde el punto de vista productivo y medio ambiental.

INTRODUCCIÓN

El sistema de producción hortícola de invernadero del sureste español está asociado a la contaminación de acuíferos superficiales con nitratos (Pulido-Bosch, et al., 1997). La mayor parte de la superficie ocupada por invernaderos ha sido declarada Zona Vulnerable a la contaminación por nitratos y existen requerimientos legislativos que obligan a reducir las pérdidas de nitratos. El riego por goteo, completamente establecido en la zona, y la rápida adopción de programadores de fertirriego permiten que este sistema de cultivo tenga la capacidad técnica para un manejo preciso del agua y los nutrientes que permita mantener la producción reduciendo las pérdidas de nitrato por lixiviación. Ensayos experimentales recientes en Almería, han demostrado que en cultivos en suelo, la lixiviación de nitratos se puede reducir considerablemente mediante el diseño de prácticas de manejo del abonado nitrogenado y del riego ajustadas a la demanda del cultivo (Granados et al., 2007). Existen modelos de simulación diseñados como sistemas de recomendación de abonado que han sido usados en otros sistemas de cultivo, generalmente extensivos, para optimizar el manejo del N (Stöckle et al., 2003, Tsui et al., 1994). El modelo de simulación EU-ROTATE_N (Rahn et al., 2010) ha sido desarrollado específicamente para cultivos hortícolas como una herramienta para evaluar el impacto de distintas estrategias de fertilización nitrogenada sobre las pérdidas de N ambientales. El objetivo de este trabajo es calibrar el modelo EU-ROTATE_N para un cultivo de

pimiento en invernadero en las condiciones del sureste español, siendo éste un primer paso esencial antes de poder usar el modelo como herramienta de manejo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción y calibración del modelo

En este trabajo se ha realizado la adaptación y calibración del modelo EU-ROTATE_N a un cultivo de pimiento bajo invernadero. El modelo EU-ROTATE_N, aparece descrito en detalle por Rahn et al., (2010). En este trabajo se ha usado la versión 1.8 del modelo de 2009. El modelo requiere una serie de datos de partida (“inputs”) que permiten caracterizar el clima, suelo (textura, propiedades hídricas y propiedades químicas) y del manejo del riego y la fertilización. Dado que el método de aporte de N fue vía fertirriego todo el N se introdujo en el modelo como concentración de N en el agua de riego. El suelo era un enarenado típico de la zona (30 cm de suelo aportado de textura arcillosa sobre suelo original de textura franca y una capa superior de 10 cm de grava-arena). En el modelo, el suelo del invernadero se dividió en 6 capas de 10 cm, las tres superiores correspondientes al suelo aportado y las otras 3 al suelo original. La capa superior de grava-arena que actúa como acolchado al no contribuir con agua ni nutrientes al desarrollo del cultivo no se incluyó en la caracterización del suelo.

Los parámetros climáticos se midieron dentro del invernadero. Antes de comenzar el ensayo se determinó la densidad aparente, el contenido de materia orgánica, el pH y la textura del suelo. El contenido de humedad del suelo a capacidad de campo, punto de marchitez permanente y saturación se determinaron para horizontes de 15 cm en ensayos específicos in situ en el suelo experimental. Se realizaron modificaciones de los parámetros determinantes de la evaporación del suelo: REW (cantidad de agua evaporable en estado 1) Ze (profundidad de evaporación) y FW (ratio de superficie humedecida en cada riego) para permitir que los valores simulados de evapotranspiración (ET) se aproximaran a los medidos. Para ello se hizo un análisis de escenarios hasta determinar el valor de REW que minimizara la E (REW=0.2, Ze=0.01) dado que el componente evaporativo desde la capa de grava-arena es muy bajo. Posteriormente se determinó el valor de FW que diera los mejores ajustes entre valores medidos y simulados de ET. Se consideró una profundidad radicular máxima de 60 cm. En la Tabla 1 se presentan los valores de las variables calibradas para el cultivo de pimiento en invernadero.

Las variables de salida (“outputs”) que se han incluido en este estudio fueron: (i) la acumulación estacional de materia seca (MS), (ii) la extracción de N en la parte aérea, (iii) la evapotranspiración del cultivo (ET), (iv) el drenaje y la lixiviación de nitratos, (v) la dinámica estacional de la humedad volumétrica del suelo y del N mineral en los horizontes 0-30 y 30-60 cm. Se ha comparado el comportamiento del modelo considerando (i) las 7 cosechas sucesivas de fruto en el archivo de inputs o (ii) considerando que toda la biomasa de frutos se cosechó al final del ciclo.

Descripción del experimento y cultivo

La calibración del modelo se realizó con datos de un cultivo de pimiento tipo California (*Capsicum annum*, L.) con ciclo 20 de julio a 2 de febrero de 2006 y densidad 2 plantas m⁻² en un invernadero de plástico sin control activo de clima de 24 m x 18 m situado en la Estación Experimental de la Fundación Cajamar, El Ejido, Almería (2°43'W, 36°48'N y 151 m). Se utilizó un sistema de fertirriego para aplicar todos los nutrientes con emisores de 2,8 L h⁻¹ y el riego y abonado se aplicaron con un manejo

convencional de la zona. Se aplicaron un total de 155 riegos. El invernadero disponía de 2 lisímetros de drenaje libre (4 m x 2 m) donde se reprodujo el suelo enarenado hasta una profundidad de 60 cm.

Determinaciones

La temperatura del aire y la humedad relativa se midieron en el invernadero de forma continua cada 30 s en la parte superior de la cubierta con un aspiro-psicrómetro ventilado y la radiación solar con un piranómetro a 2 m de altura. La radiación solar exterior se obtuvo de la estación climática de la estación experimental. La evapotranspiración del cultivo (ET) se midió semanalmente por balance de agua como la suma de la variación en la humedad volumétrica del suelo y el riego menos el drenaje acumulado cada semana. La humedad volumétrica se midió con sensores de capacitancia (EnviroSCAN®, Sentek, Australia), y el riego y el drenaje se midieron diariamente, éste último usando los lisímetros de drenaje descritos anteriormente. La acumulación de materia seca (MS) se midió 7 veces durante el ciclo cortando dos plantas completas/replicación en 4 replicaciones y determinando la materia seca de cada fracción aérea. Adicionalmente se fue recogiendo durante el ciclo, la MS eliminada en las podas de 8 plantas marcadas/replicación para el seguimiento de la producción. La producción de fruto se determinó en las 8 plantas a lo largo del ciclo determinándose tanto el peso fresco (comercial y total) como el peso seco. La MS total de cada muestreo se obtuvo como la suma de la MS del muestreo más la MS de la poda y frutos cosechados hasta esa fecha. Al final del ciclo, se obtuvo la biomasa final en las 8 plantas marcadas y se determinó la MS total final como la suma de la MS final y toda la MS de poda y frutos cosechados. La extracción de N por la parte aérea de la planta se determinó midiendo el contenido de N de cada muestra con un analizador elemental.

Se realizaron tres muestreos de suelo durante el ciclo de cultivo, al inicio, mitad y final del ciclo. Las muestras de suelo se tomaron a 0-20, 20-30 y 30-60 cm de profundidad en 3 posiciones respecto al gotero (junto al gotero, en el centro de la línea y entre el gotero y el centro de la línea). En las muestras se determinó la humedad volumétrica y el contenido de $\text{NO}_3\text{-N}$ y $\text{NH}_4\text{-N}$ con un analizador de flujo segmentado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presenta la evolución estacional de las distintas variables simuladas frente a los valores medidos experimentalmente. En la Figura 1a se observa la simulación de la MS vegetativa (sin incluir los frutos cosechados) mostrando los descensos de la misma en cada una de las cosechas de fruto y también la simulación de la materia seca total. Cuando se consideraron cosechas múltiples, el modelo no simuló correctamente la MS total, observándose una considerable infraestimación (Fig. 1a). Cuando se consideró una cosecha única, la simulación de la MS se ajustó a los valores medidos durante todo el ciclo (Fig. 1b). Guo et al. (2010) evaluaron el modelo EU-ROTATE_N en pepino bajo invernadero y no incluyeron en la simulación las cosechas múltiples. Posiblemente dado que se trata de un modelo bastante reciente, todavía sea necesario mejorar el funcionamiento del módulo de cosechas múltiples. La producción total de fruto simulada fue de 96 t/ha frente a 99 t/ha medida lo cual supuso una infraestimación de sólo un 3% del valor medido.

En la Figura 1c se presenta la evolución del N extraído en la parte aérea simulado frente al medido observándose también un buen ajuste del modelo. La ligera infraestimación del N extraído en la parte intermedia del ciclo estuvo asociada a la

pequeña infraestimación de la materia seca en ese mismo periodo. En este trabajo se utilizaron los coeficientes de la ecuación que relaciona el %N crítico con la MS para pimiento de aire libre (Greenwood, 2001) habiendo mostrado un buen comportamiento. Este trabajo confirma las observaciones de Greenwood (2001) que indicó que estos coeficientes son específicos para cada especie y extrapolables a distintas condiciones de cultivo.

La ET del cultivo presentó un buen ajuste a los valores medidos (Fig. 1e) mientras que el drenaje (Fig. 1e) fue sobreestimado por el modelo en un 12%. Hubo bastante similitud entre la lixiviación de nitratos medida y la simulada durante la mayor parte del ciclo con la excepción de una ligera infraestimación en el periodo entre 50 y 100 DDT. El error en la simulación de la lixiviación fue de 5% del valor medido. No se han encontrados trabajos publicados con EU-ROTATE_N que hayan contrastado experimentalmente estas variables de flujo de agua y N en campo.

La simulación de la evolución estacional de la humedad volumétrica que fue constante a lo largo del ciclo en los dos horizontes medidos en torno a capacidad de campo, tuvo un buen comportamiento (Fig. 1g) mientras que el contenido de N mineral del suelo fue ligeramente infraestimado por el modelo (error del 14% del valor medido) (Fig. 1h). La infraestimación observada tanto en el N lixiviado como en el N mineral en el suelo puede estar asociada a la mineralización de una elevada aplicación de estiércol de oveja no incluida en el modelo ya que no fue posible incluir en éste la aplicación del estiércol que tuvo lugar 3 años antes del año de la simulación.

Los resultados de este estudio muestran que en general el modelo tuvo un buen comportamiento para simular los principales componentes de la productividad y flujo de agua y N en el sistema suelo-planta en un cultivo de pimiento en invernadero. Es importante contrastar estos resultados con los resultados de la validación del modelo con ciclos de cultivo distintos a los usados en la calibración para poder llegar a resultados más concluyentes.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con el proyecto AGL2004-07399 del Ministerio de Educación y Ciencia y FEDER, y con el proyecto RTA2008-00081-C5-04 del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).

Referencias

- Granados M.R., Thompson R.B, Fernández M.D., Martínez-Gaitán C., Gallardo M., Giménez C., 2007. Reducing nitrate leaching with a simple model for nitrogen and irrigation management of fertigated vegetable crops. In: Towards a better efficiency in N use (Bosch A., Teira M.R., Villar J.P., eds). Editorial Milenio, Lleida, Spain. pp. 333-335
- Greenwood, D.J. 2001. Modeling N-response of field vegetable crops grown under diverse conditions with N_ABLE: a review. *Journal of Plant Nutrition* 24:1799-1815.
- Guo, R., Nendel, C., Rahn, C., Jiang, C., Chen, Q. 2010. Tracking nitrogen losses in a greenhouse crop rotation experiment in North China using the EU-Rotate_N simulation model. *Environmental Pollution*, 158, 2218-2229.
- Pulido-Bosch, A., Navarrete, F., Martínez, J.F., Molina, L., Sánchez, F., Vallejos, A., Martín, W., 1997. La contaminación en los acuíferos del Campo de Dalías y Delta del Andarax (Almería). In: Recursos Naturales y Medio Ambiente en el Sureste Peninsular. Instituto de Estudios Almerienses, Almería, Spain, pp. 363-381.

- Rahn, C.R., Zhang, K., Lillywhite, R., Ramos, C., Doltra, J., de Paz, J.M., Riley, H., Fink, M., Nendel, C., Kristensen, K.T., Petersen, A., Piro, F., Venecia, A., Firth, C., Schmutz, U., Rayns, F., Strohmeyer, K. 2010. EU-ROTATE_N-a European Decision Support System-to predict environmental and economic consequences of the management of nitrogen fertiliser in crop rotations. *Europ. J. of Hort. Sci.*, 75, 20-32.
- Stöckle, C.O.; Donatelli, M. and Nelson, R., 2003. CropSyst, a cropping system simulation model. *Europ. J. Agronomy*, 18: 289-307.
- Tsjui G.Y., Uehara, G., Balas, S. (eds.) 1994. DSSAT v3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

Tablas

Tabla 1. Parámetros de calibración obtenidos para cultivo de pimiento en invernadero utilizados en el modelo. Para el resto de parámetros de calibración (no presentados) se han mantenido los valores que aparecen por defecto en EU-ROTATE_N. Todos los parámetros, excepto TBase y dlag se han obtenido experimentalmente.

Parámetro	Valor	Descripción
TBase	10	Temperatura base de crecimiento (°C)
dlag	0	Tiempo térmico para germinar e iniciar el crecimiento radiación (°C)
K_ini	0.05	Coefficiente de cultivo basal inicial
K_mid	0.95	Coefficiente de cultivo basal intermedio
K_end	0.95	Coefficiente de cultivo basal final
Hmax	1.5	Altura máxima del cultivo (m)
L_ini	7	Longitud de la fase de crecimiento inicial (días)
L_dev	73	Longitud de la fase de crecimiento lineal (días)
L_mid	60	Longitud de la fase de crecimiento intermedia (días)
L_lat	60	Longitud de la fase de crecimiento final (días)
R0	8	Factor de conversión de materia seca en rendimiento
%DM	8	Contenido de materia seca del fruto en cosecha
HI	0.57	Índice de cosecha
N_ratio	0.8	Fracción del N en frutos en relación a la fracción de biomasa en frutos respecto a los residuos

Figuras

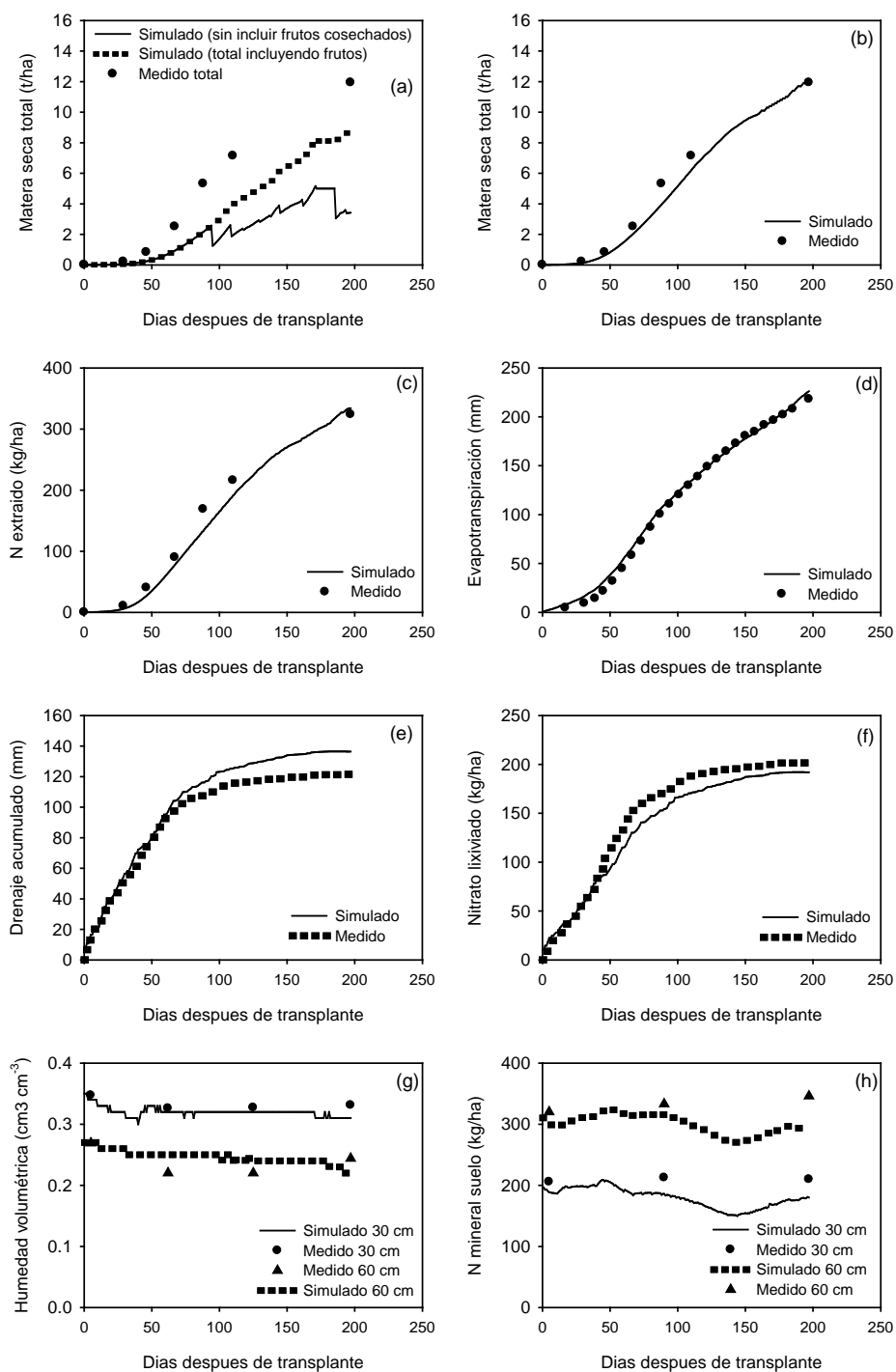


Fig. 1. Evolución estacional de valores simulados en relación a valores medidos de (a) materia seca simulada vegetativa y total considerando cosechas múltiples, (b) materia seca total considerando una cosecha única (c) N extraído por la parte aérea del cultivo, (d) evapotranspiración acumulada, (e) drenaje acumulado, (f) nitrato lixiviado, (g) humedad volumétrica y (h) contenido de N mineral en los horizontes 30 y 60 cm.