



Uso del VegSyst-DSS para calcular la dosis de riego, necesidades de N y la concentración de N en fertiriego en cultivos hortícolas de invernadero

M. Gallardo^{1,2}, F. Arrabal³, F.M. Padilla^{1,2} y R.B. Thompson^{1,2}

¹Departamento de Agronomía, Universidad de Almería, Carretera de Sacramento s/n, 04120 Almería, mgallard@ual.es

²Campus de excelencia internacional agroalimentario (ceiA3), Universidad de Almería

³Departamento de Química y Física, Universidad de Almería

Palabras clave: Sistema de ayuda a la toma de decisiones, nitrógeno, modelos, abonado, pepino

Resumen

En este artículo se describe la aplicación informática VegSyst-DSS diseñada para determinar dosis diarias de riego, abonado nitrogenado (N) y la concentración de N ([N]) en fertiriego en los principales cultivos hortícolas de invernadero en Almería. El DSS ("Decision Support System") calcula el riego a partir de estimaciones de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) con el modelo VegSyst, la uniformidad del sistema de riego y la salinidad del agua; el N se calcula mediante un balance de N diario considerando las extracciones de N simuladas con el modelo VegSyst y las fuentes de N del suelo. Se presenta un ejemplo de uso del VegSyst-DSS en cultivo de pepino en invernadero en suelo donde se compara el manejo recomendado con el DSS con el de los agricultores. Este trabajo demuestra que el uso del VegSyst-DSS permite reducir considerablemente la concentración de N en la solución de fertiriego y por tanto lleva un ahorro en el uso de fertilizantes y una reducción de las pérdidas de N al medio ambiente.

Use of the VegSyst-DSS to calculate the irrigation and N requirements and the applied N concentration of fertigated greenhouse-grown vegetable crops

Keywords: Decision support systems, nitrogen, model, fertilization, cucumber

Abstract

This article describes the software VegSyst-DSS which determines daily doses of irrigation, N fertilizer and N concentration ([N]) of nutrient solutions applied by fertigation for the main greenhouse-grown vegetable crops in Almeria. The DSS ("Decision Support System") calculates irrigation requirements from previous simulations of crop evapotranspiration (ET_c) made with the VegSyst model, the uniformity of the irrigation system and the salinity of the irrigation water. The N fertilizer requirement is calculated using a daily N balance by considering the crop N uptake, simulated with the VegSyst model, and the N sources in the soil. An application of the VegSyst-DSS is presented for a greenhouse cucumber crop grown in soil where the management recommended with the DSS is compared to the farmer's management. This work demonstrates that the use of the VegSyst-DSS can significantly reduce the concentration of N in the fertigation solution leading to savings in the use of fertilizers and a reduction in N losses to the environment.

INTRODUCCIÓN

El VegSyst-DSS (DSS: “Decision Support System”) ha sido desarrollado para proporcionar recomendaciones de dosis diarias de riego, abonado nitrogenado (N) y concentración de N ([N]) en el fertiriego en cultivos hortícolas de invernadero. Una característica importante de este DSS es su simplicidad habiendo sido diseñado para ser fácilmente adoptado por agricultores o técnicos. Usando las recomendaciones de riego y abonado N del DSS, el cultivo va a recibir las cantidades de agua y N necesarias para maximizar la producción evitando aportes de riego excedentarios o deficitarios y pérdidas de N al medio. El contexto de este trabajo es la zona de producción hortícola bajo invernadero del sureste español, donde hay requerimientos legislativos para reducir la contaminación por NO_3^- . Los elevados niveles de NO_3^- de esta zona han estado asociados principalmente a la intensidad del sistema y al manejo del N basado en recetas estándar y escasa planificación o monitorización. El VegSyst-DSS incorpora (i) el modelo de simulación VegSyst y (ii) un balance diario de N (Gallardo et al., 2014). Actualmente el modelo VegSyst ha sido calibrado para las principales especies hortícolas de invernadero del SE Español: tomate, pimiento, pepino, calabacín, melón, sandía, berenjena y calabacín. La ventaja de este DSS es que al estar basado en un modelo predictivo, permite planificar el riego y abonado N de acuerdo a las necesidades de cada cultivo, presentando la flexibilidad de responder a factores como el clima, ciclo de cultivo, y tipo de manejo. El DSS se puede usar en cultivos de invernadero en suelo o en sustrato. En este trabajo se presenta una descripción del VegSyst-DSS y un ejemplo de su uso en un cultivo de pepino en invernadero.

DESCRIPCIÓN DEL VEGSYST-DSS Y SOFTWARE

El VegSyst-DSS incorpora (i) el modelo de simulación VegSyst que calcula a una escala diaria las necesidades hídricas y la extracción de N del cultivo y (ii) un balance diario de N que considera el N mineral presente en el suelo y el N mineralizado desde aplicaciones de materia orgánica. Información detallada sobre el modelo y el DSS se presenta en Gallardo et al. (2011, 2014). VegSyst es un modelo de cultivo que simula la producción de materia seca de cultivos hortícolas de invernadero a partir de estimaciones diarias de la radiación PAR interceptada por el cultivo; a partir de la biomasa y usando una curva de dilución calcula la extracción de N. Usando la metodología FAO 56, el DSS calcula la evapotranspiración del cultivo (ET_c), a partir del cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o) usando Penman-Monteith o la ecuación de radiación desarrollada por Fernández et al., (2010) para invernaderos en Almería. El empleo de la ecuación de radiación simplifica los datos climáticos necesarios. En un primer paso el modelo se calibró y validó en tomate, pimiento y melón (Gallardo et al., 2011, 2014) y recientemente ha sido calibrado/validado para pepino, calabacín, melón rastrero, sandia y berenjena, cubriendose así todas especies cultivadas en invernadero en Almería. En estas especies, el modelo presentó un comportamiento excelente para predecir la producción de materia seca, y aceptable para la simulación de la ET_c . El N crítico simulado con el modelo (contenido de N mínimo que maximiza la producción de biomasa) fue consistentemente inferior a las extracciones de N medidas experimentalmente confirmando que estos cultivos no presentaban limitaciones de N.

El DSS calcula la dosis bruta de riego, la cantidad de fertilizante N diario y la [N] semanal o cada 4 semanas de la solución nutritiva. La dosis bruta de riego es calculada a

partir de la ET_c y considerando el coeficiente de uniformidad del sistema de riego y una fracción de lavado que depende de la salinidad del agua de riego. El balance diario de N considera el N extraído diariamente por el cultivo que calcula el modelo (demanda de N) y las fuentes de N desde el suelo (N mineral al inicio del ciclo+ N mineralizado desde estiércol u otras fuentes de materia orgánica + N mineralizado desde la materia orgánica del suelo). Se considera que solo una fracción del N presente en el suelo está disponible para el cultivo. Las necesidades diarias de N se obtienen por balance entre la demanda diaria y las fuentes de N del suelo. La cantidad de N necesaria se calcula considerando un coeficiente de eficiencia de la aplicación del fertilizante que oscila entre 0.8 y 0.6 en función del manejo. Finalmente la [N] semanal de la solución se calcula como el cociente entre el N y el riego semanal.

Actualmente y basándose en un prototipo inicial en Excel, se ha desarrollado una aplicación informática para el VegSyst-DSS programada en lenguaje Visual C# empleado la interfaz visual Winform con un estilo ModernUI. La gestión de datos se realiza mediante la tecnología LocalDBv.11 para la versión MS SQL Server 2012 Express. La primera versión está disponible en inglés y en español estará disponible en 2016. El DSS requiere como información de partida: (i) datos del cultivo, (ii) datos climáticos, (iii) información sobre la uniformidad del sistema de riego y la calidad del agua de riego, (iv) datos de suelo e (v) información sobre aplicaciones previas de materia orgánica. En relación a los datos de clima (temperatura interior y radiación exterior), es posible usar una base de datos histórica, incorporada en el DSS, que permite calcular antes de iniciar el ciclo de cultivo las necesidades de riego y abonado N. El uso de datos históricos ahorra tiempo y evita al usuario la descarga de datos de clima en tiempo real durante el ciclo de cultivo. El software permite crear proyectos a partir de bases de datos existentes de clima, suelo, y materia orgánica aplicada; también se pueden crear nuevas bases de datos que se guardan para futuros proyectos. El software incluye en su instalación una base de datos histórica de clima en invernadero de la estación experimental de la Fundación Cajamar y una base de datos con todos los parámetros de calibración de las especies hortícolas.

EJEMPLO DE USO DEL SOFTWARE VEGSYST-DSS

Se presenta un ejemplo del uso del DSS para un cultivo de pepino en invernadero sobre suelo en ciclo otoño-invierno (05/09 al 01/02), con 80 kg ha⁻¹ de N mineral inicial en el suelo y una aplicación de 50 m³ ha⁻¹ de estiércol de oveja en el invernadero el año previo. Los outputs del DSS se presentan en la Figura 1. El riego recomendado por el DSS fue ligeramente superior a la ET_c debido al 9% adicional de riego de lavado siendo la CE del agua de riego de 2 dS m⁻¹ (Fig. 1a). La evolución estacional de las necesidades hídricas (Fig. 1a) y de N (Fig. 1b) siguieron un patrón condicionado por las condicionales climáticas y el estado de desarrollo del cultivo. La [N] recomendada por el DSS (Fig. 1c) incrementó desde valores iniciales de 7 mmol L⁻¹ a valores máximos de 14.5 mm L⁻¹ a las 4 semanas desde trasplante, coincidiendo con el periodo de máximo desarrollo del cultivo; a partir de ahí descendió progresivamente hasta el final del ciclo. El valor promedio de [N] recomendado por el DSS fue de 9 mm L⁻¹ considerablemente inferior al valor de 13 mm L⁻¹ recomendado a los agricultores para cultivo de pepino por Fernández y Camacho (2008).

En la tabla 1 se comparan los outputs del DSS con las recomendaciones de los agricultores para pepino (Fernández y Camacho, 2008). Los valores de riego medios usados por los agricultores en pepino, fueron ligeramente superiores a los recomendados por el DSS (Tabla 1), sobre todo en la fase de establecimiento. Hubo diferencias apreciables en

la dosis de N entre las recomendaciones del DSS y las de los agricultores. Los valores totales de N recomendados por el DSS fueron el 57% de los recomendados a los agricultores; las diferencias se mantuvieron en todo el ciclo. En las recomendaciones del DSS durante el establecimiento no fue necesario aplicar N debido a la existencia de N residual en el suelo y a la baja demanda del cultivo (Tabla 1).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto Plan Nacional AGL2012-39036-C03-01 del Ministerio de Economía y competitividad y fondos FEDER.

Referencias

- Fernández, E.J., Camacho Ferre, F., 2008. Manual práctico de Fertirrigación en riego por goteo. Ediciones Agrotécnicas S.L., Madrid, Spain.
- Fernández, M.D., Bonachela, S., Orgaz, F., Thompson, R., López, J.C., Granados, M.R., Gallardo, M., Fereres, E., 2010. Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspiration in a Mediterranean climate. *Irrig. Sci.* 28, 497–509.
- Gallardo, M., Giménez, C., Martínez-Gaitán, C., Stöckle, C.O., Thompson, R.B., Granados, M.R., 2011. Evaluation of the VegSyst model with muskmelon to simulate crop growth, nitrogen uptake and evapotranspiration. *Agric. Water Manag.* 101, 107–117.
- Gallardo, M., Thompson, R.B., Giménez, C., Padilla, F.M., Stöckle, C.O., 2014. Prototype decision support system based on the VegSyst simulation model to calculate crop N and water requirements for tomato under plastic cover. *Irrig. Sci.* 32, 237–253.

Tabla 1. Volumen de riego y cantidad de N recomendado por el DSS y aplicado por los agricultores. Se presentan los valores por períodos; (1) establecimiento, (2) fase de crecimiento rápido y (3) fase intermedia a madurez y total para el ciclo de pepino.

Periodo	Riego-DSS (mm)	Riego-Agric.(mm)	N-DSS (kg ha ⁻¹)	N-Agric. (kg ha ⁻¹)
1 (0-12 DDT)	9	33	1	60
2 (13-50 DDT)	73	108	145	196
3 (51-148 DDT)	178	213	222	389
Total (0-148 DDT)	260	354	368	645

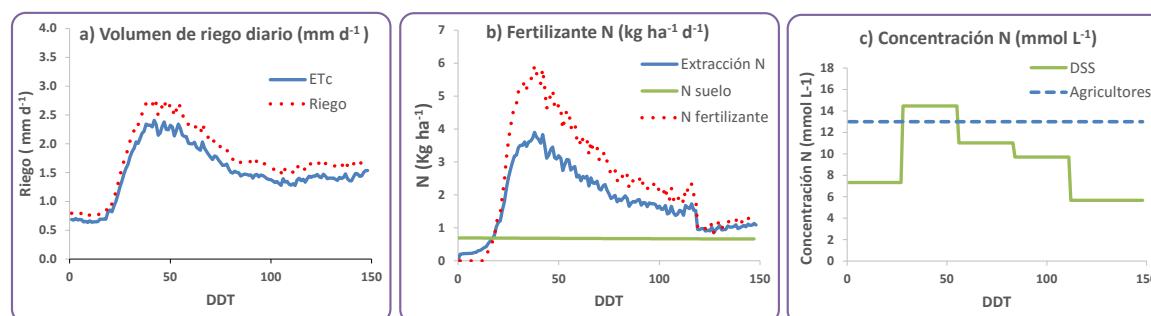


Fig. 1. Evolución estacional de valores diarios en cultivo de pepino en invernadero de (a) ET_c y volumen de riego, (b) N aportado por el suelo, a aplicar como fertilizante y extraído por el cultivo y (c) [N] en solución recomendada por el DSS y usada por los agricultores.