

## **Utilización de un sistema de riego inteligente para estudiar los efectos del manejo de riego sobre las respuestas agronómicas de plantas de tomate cultivadas bajo diferentes temperaturas.**

W.M. Rodríguez-Ortega<sup>1</sup>, T. Mestre<sup>1</sup>, V. Martínez<sup>1</sup> y F. García-Sánchez<sup>1,\*</sup>.

<sup>1</sup>Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, CSIC, Campus Universitario de Espinardo, 30100-Espinardo (Murcia). e-mail: fgs@cebas.csic.es

### **Resumen**

En este experimento se utilizó un sistema de riego inteligente, basado en monitorizar la radiación solar, volumen de riego, y volumen y conductividad eléctrica de la solución de drenaje, para evaluar diferentes manejos de riego en plantas de tomate cultivadas a 25 °C o 35 °C. El software que controla el riego se configuró de tal manera que las plantas se regaban cuando consumían de 0,4 L (FR1), 0,8 L (FR2) o 1,2 L (FR3). Durante el desarrollo del experimento se determinaron parámetros relacionados con la producción y calidad de la fruta. Con estos datos se pudo concluir que tanto a 25 °C como a 35 °C el manejo del riego se debe hacer con una alta o moderada frecuencia (FR1 y FR2) “para obtener una buena producción”, y temperaturas de 35 °C producían una disminución importante de la cosecha. La calidad de los frutos, en cambio, mejoró con la alta temperatura debido al aumento de la concentración de azúcares solubles. Este ensayo también demuestra que la utilización de sistemas de riego inteligente puede ser útil para gestionar el manejo de riego en sistemas de cultivo sin suelo en invernadero monitorizando de forma sencilla parámetros como la radiación solar, volumen de riego, y el volumen y conductividad eléctrica de la solución de drenaje.

**Palabras clave:** producción, calidad de frutos, sensores, frecuencia de riego, software en agricultura.

## **Using a smart irrigation system to study the effects of irrigation management on the agronomic responses of tomato plants grown under different temperatures**

### **Abstract**

In this experiment, a smart irrigation system based on monitoring variables such as solar radiation, irrigation volume, and electrical conductivity and volume of the drainage solution was used to evaluate different irrigation management protocols in tomato plants grown at 25 °C or 35 °C. The software controlling the irrigation was configured such that the plants were watered after using 0.4 L (FR1); 0.8 L (FR2) or 1.2 L (FR3) of solution. During the course of the experiment parameters related with the production and fruit quality were evaluated. The data gathered showed that at 25 °C and 35 °C, irrigation management should be done with high or moderate frequency (FR1 and FR2) to obtain “a good production”. Also, it was observed that temperatures of 35 °C lead to a significant reduction in the yield. The fruit quality, however, was improved at high temperature due to the increase in the concentration of soluble sugars. This assay also demonstrates that the use of smart irrigation systems allow for irrigation in a unique way, by simply monitoring parameters such as solar radiation, irrigation volume, and electrical conductivity and volume of the drainage solution.

**Keywords:** production, fruit quality, environmental sensors, irrigation frequency, agricultural software.

### **Introducción**

Las temperaturas que se alcanzan en los invernaderos durante los meses de primavera y verano suelen sobrepasar la temperatura óptima para el cultivo de tomate. El manejo óptimo de la fertirrigación es esencial para tener tanto una buena producción y calidad de la fruta como para ahorrar agua y fertilizantes, y este puede ser diferente en función de las condiciones medioambientales en las que se desarrolla el cultivo (Marucci y Pagniello, 2011). Sin embargo, cuando y cuánto regar no es una tarea fácil en estos sistemas, tanto

una deficiencia como un exceso de agua redundaba negativamente en la productividad del cultivo. Actualmente con la posibilidad de controlar el manejo del riego mediante aplicación de nuevas tecnologías (TIC) basadas en adquisición de datos y toma de decisiones en tiempo real se puede optimizar de forma automática el uso eficaz del agua y los fertilizantes de los cultivos hortícolas. Este experimento tiene como objetivo estudiar las respuestas agronómicas de plantas de tomate de la variedad “Anairis” a diferentes manejos de riego, y cultivadas en dos invernaderos con diferente temperatura (25°C y 35°C); controlando el manejo de riego de forma automática a partir de un software que establece la frecuencia de los riegos así como la cantidad de agua aplicada en cada riego, a partir de datos tomados en tiempo real de la radiación solar, volumen de riego, volumen drenado en cada evento de riego, y la conductividad eléctrica de la solución de drenaje.

### **Material y Métodos**

El experimento se realizó en el 2012 en la finca experimental del CEBAS (Santomera, Murcia). Se cultivaron plantas de tomate “Anairis” (*Lycopersicum esculentum*) en sacos de 40 L de perlita. El experimento se inició en abril y se terminó a finales de Agosto. La solución nutritiva (SN) utilizada para el riego fue: 6 mM KNO<sub>3</sub>, 4 mM Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 1 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 1 mM MgSO<sub>4</sub>, complementada con micronutrientes, y preparada a partir de agua de CE=0,8 dS/m.

El invernadero está dividido en dos módulos independientes. En el módulo #1 se fijó la temperatura máxima a 25 °C y en el #2 a 35 °C. Para mantener esta temperatura, el software ponía en marcha una serie de acciones activando o desactivando la apertura de las ventanas cenitales y el sistema de refrigeración “air cooling”. En los dos módulos había sensores que registraban la radiación solar, y temperatura y humedad relativa del aire. Durante el experimento las temperaturas medias registradas fueron de 27 °C/20 °C día/noche para el invernadero #1, y 33 °C/20 °C para el invernadero #2.

Para el manejo del riego se utilizó un software denominado “HortiControl Expert” que es capaz de gestionarlo de forma automática a partir de la monitorización en tiempo real de la radiación solar, volumen de riego aplicado, y volumen y conductividad eléctrica (CE) de la solución de drenaje (SD; litros/planta). El software fue configurado inicialmente para que se establecieran tres tratamientos de riego diferentes según el agua consumida por las plantas, 0,4 L (FR1); 0,8 L (FR2) y 1,2 L (FR3), que se calculaba en cada evento de riego como la diferencia entre el volumen de SN aplicada al cultivo y la SD; y este valor se relacionaba con la radiación solar acumulada (Rad<sub>ACUM</sub>) entre dos riegos consecutivos. Cuando la Rad<sub>ACUM</sub> alcanzaba un valor equivalente al consumo de agua establecido para cada tratamiento se producía el siguiente riego. El programa además determinaba la cantidad de agua aplicada en cada riego y por tanto el porcentaje de drenaje basado en la CE de la solución de drenaje con el fin impedir un exceso de sales en el sustrato (> 4 dS/m).

El diseño de este experimento fue bifactorial con 2 temperaturas (25 °C y 35 °C) x 3 tratamientos de manejo de riego (FR1, FR2, FR3). En cada invernadero había dos bloques, en los que los tratamientos se distribuían al azar. En cada uno de los módulos se cultivaron 54 plantas de tomate (27 plantas/bloque, con una densidad de plantación de 2.5 plantas/m<sup>2</sup>).

Para conocer la producción total de las plantas se iban recolectando sus frutos cuando alcanzaban la etapa de pintón a maduro. Estos frutos eran pesados individualmente y clasificados por categorías comerciales, según su peso, calibre, y daños físicos. A los frutos también se les determinó su calidad midiendo el color, índice de

forma, dureza, firmeza, pH, CE, sólidos solubles totales y acidez valorable (Ver procedimientos Navarro et al., 2005). El experimento se llevó a cabo hasta la maduración de los frutos del décimo racimo, que una vez cosechados se procedió a determinar el desarrollo vegetativo de las plantas.

En las figuras y tablas \*, \*\*, \*\*\* y “ns” indican diferencias significativas a  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,001$  y no significativas, respectivamente. Para cada columna, valores con diferentes letras presentan diferencias significativas al 95 %. Los valores de cada uno de los parámetros son valores medios  $\pm$  error estándar.

### **Resultados y discusión**

En la figura 1 y tabla 1 podemos ver un resumen de los datos generados del manejo de riego realizados por el software para cada uno de los tratamientos ensayados según las consignas introducidas. Como era de esperar a las plantas del invernadero de 35 °C se les aplicó un volumen de SN mayor que a aquellas cultivadas a 25 °C, debido a que a 35 °C aumentó el número de riegos por día al aumentar la tasa de transpiración de estas plantas. En cuanto al manejo de riego, la mayor cantidad de SN aplicada fue para el tratamiento FR2, seguido de FR1 y FR3 a 25 °C, mientras que a 35 °C siguió el siguiente orden FR1>FR2>FR3. En ambas temperaturas al pasar de FR1 a FR3 disminuía el número de riegos a la vez que se incrementaba la cantidad de SN aplicada.

En la producción comercial de frutos, presentado en la figura 2, no se tienen en cuenta los frutos afectados por BER con síntomas superiores al 10 % de la superficie total del fruto, los frutos con un peso menor de 70 g, y frutos con síntomas de rajado. Los datos muestran que la producción comercial fue mayor para las plantas cultivadas a 25 °C, debido a que la alta temperatura (35 °C) disminuyó tanto el número de frutos como el peso medio de los mismos. En cuanto al manejo de riego, para ambas temperaturas, se puede observar que los tratamientos FR1 y FR2 dieron una producción similar, y esta fue mayor que para el tratamiento FR3. Esta diferencia se dio porque en el manejo de riego FR3 disminuyó tanto el número de frutos por planta como el peso medio de los frutos.

Los parámetros de los frutos de tomate diámetro ecuatorial, diámetro longitudinal, índice de forma, dureza, y firmeza no fueron afectados ni por la temperatura ni por el manejo de riego (Datos no mostrados). Sin embargo, la temperatura de 35 °C disminuyó el pH y aumentó los SST (Tabla 2). El manejo de riego FR3 aumentó los SST y disminuyó el pH con respecto a FR1 y FR2. Entonces, los frutos cultivados a 35 °C y con el tratamiento FR3 tuvieron la mayor concentración en SST.

### **Conclusiones**

1. El manejo óptimo de la fertirrigación, desde el punto de vista de la producción, requiere riegos de alta o moderada frecuencia tanto a 25 °C como a 35 °C para este sistema de cultivo.
2. La temperatura del invernadero a 35 °C tiene efectos muy negativos en la producción con respecto a 25 °C.
3. El sistema de riego inteligente basado en medir la radiación solar, el volumen de riego, y la CE y el volumen de la SD permite hacer un manejo del riego en función del consumo de SN de las plantas.

### **Bibliografía**

Marucci, A. and Pagnello, B. 2011. Simulation of the growth and the production of the tomato in typical greenhouses of the Mediterranean environment. *J. Food Agr. Environ.* 9: 407-411.

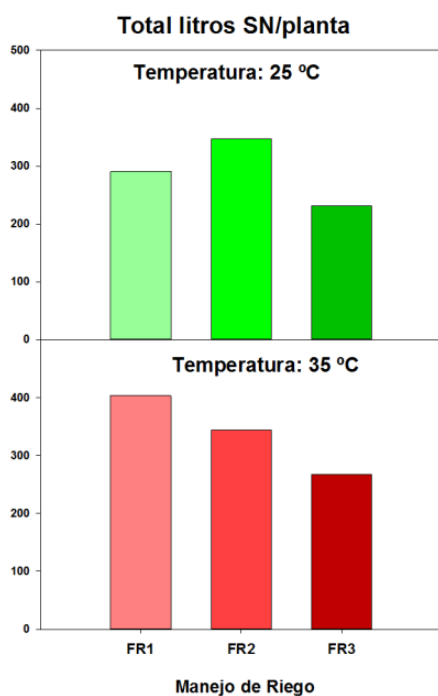
Navarro, J.M., Flores, P., Carvajal, M. and Martinez, V. 2005. Changes in quality and yield of tomato fruit with ammonium, bicarbonate and calcium fertilisation under saline conditions. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 80: 351-357.

**Tabla 1.** Número de riegos por planta y día, y volumen de SN (litros/planta) aplicada en cada riego en cada uno de los meses que se desarrolló el ensayo.

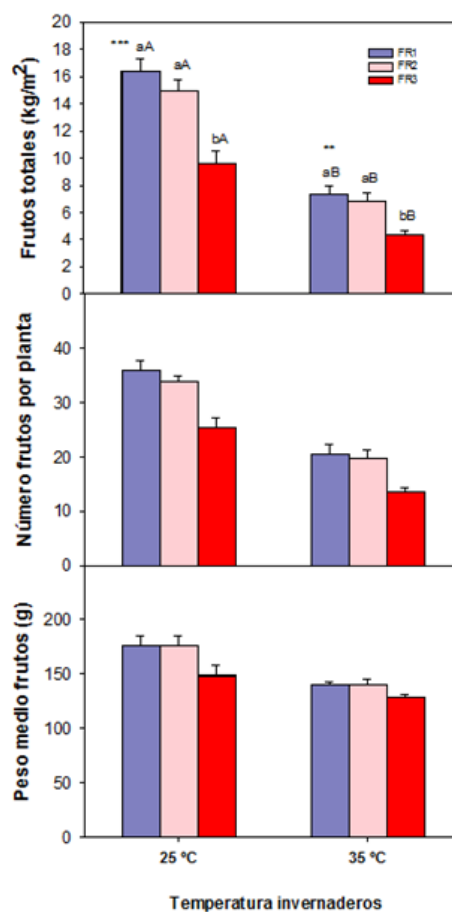
	Numero de riegos						Volumen SN (L/planta y riego)					
	25 °C			35 °C			25 °C			25 °C		
Mes	FR1	FR2	FR3	FR1	FR2	FR3	FR1	FR2	FR3	FR1	FR2	FR3
5	0.7	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.5	1.0	1.0
6	5.1	2.3	1.2	6.4	2.9	1.2	0.5	1.1	1.7	0.6	1.1	1.8
7	5.1	2.6	1.4	7.0	3.1	1.9	0.7	1.4	2.1	0.7	1.4	2.1
8	3.7	3.1	1.1	5.5	2.2	1.0	0.9	1.7	2.5	0.9	1.7	2.5

**Tabla 2.** pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos solubles totales (SST), acidez valorable (TA) e índice de madurez (IM) en frutos de tomate.

	pH	SST (°Brix)	TA	IM
<b>Factor principal: T<sup>a</sup></b>				
25 °C	4,46±0,01***	5,33±0,1**	42,91±1,75 <sup>ns</sup>	1,24±0,21 <sup>ns</sup>
35 °C	4,36±0,01	5,67±0,1	42,12±1,56	1,35±0,21
<b>Factor principal: Riego</b>				
FR1	4,45±0,02a	5,28±0,11b	43,29±1,95 <sup>ns</sup>	1,21±0,20 <sup>ns</sup>
FR2	4,41±0,02ab	5,37±0,09b	41,15±1,95	1,31±0,22
FR3	4,36±0,01b	5,89±0,14a	43,29±1,95	1,36±0,20



**Figura 1.** Litros totales de SN aplicados a cada planta en todo el experimento



**Figura 2.** Rendimiento comercial de las plantas de tomate