

RESPUESTA AGRONÓMICA DEL CULTIVO DE PIMIENTO BAJO INVERNADERO A DIFERENTES UMBRALES DE POTENCIAL MATRICIAL DEL SUELO

Alonso, F.; Baeza, R.; Cánovas, G.; Contreras, J.I.

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Andalucía (IFAPA) Centro La Mojonera, Almería.

RESUMEN

El uso eficiente del agua se ha convertido en uno de los mayores desafíos para la producción hortícola intensiva de Almería. La programación del riego juega un papel determinante ya que puede reducir significativamente el consumo de agua. Sin embargo, la decisión de cuánto y cuándo regar se sigue haciendo, en un porcentaje muy alto, en base a la experiencia del propio agricultor. Desde finales de los 80, los enormes avances en la electrónica y tecnologías de la información han dado lugar a importantes avances en el desarrollo, disponibilidad y aplicación de sensores para su uso en la programación del riego. La automatización del riego empleando electrotensiómetros es una opción viable a nivel de parcela. Para que el control automático del riego mediante el potencial matricial del suelo sea efectivo es determinante establecer un valor a partir del cual se inicie el riego. Pero estos límites dependen de la especie de cultivo, estado de desarrollo del mismo, de las condiciones evaporativas y de las características del suelo. El objetivo de este trabajo es identificar el valor umbral de potencial matricial del suelo que maximice la producción y la productividad del agua para un cultivo de pimiento bajo invernadero. El estudio se desarrolló en el Centro IFAPA La Mojonera (Almería) sobre pimiento cv. Parejo cultivado en un invernadero de “raspa y amagado”. La parcela experimental disponía de un sistema de riego localizado con automatización de la activación de los pulsos de riego mediante la señal de electrotensiómetros. Se establecieron tres tratamientos de riego con consignas de -10 kPa, -15 kPa y -20 kPa, respectivamente, y dotación de 2 L.m⁻² para todos. Se determinaron la producción comercial (kg.m⁻²), el volumen de agua aplicado (L.m⁻²), volumen de drenaje (L.m⁻²) y productividad del agua (kg de fruto comercial por m³ de agua aplicado). Los resultados muestran un efecto claro de los tratamientos con diferentes valores umbrales de potencial matricial del suelo sobre la cosecha. La producción fue significativamente mayor cuanto menor fue el valor umbral de tensión matricial establecido. Los tratamientos de riego que proporcionaron volúmenes de agua por debajo de los requerimientos hídricos del cultivo tuvieron un efecto significativo sobre la pérdida de producción. Las diferencias de cosecha se debieron a un menor número de frutos y no a un menor peso de los mismos. En las condiciones de desarrollo del ensayo, el tratamiento con una consigna de -10 kPa arrojó los mejores resultados de productividad del agua. Estos datos contrastan con un

ensayo anterior a éste, desarrollado en condiciones muy similares, pero sobre un cultivar de pimiento más productivo y de mayor desarrollo vegetativo, en el que la consigna de -20 kPa fue la que presentó una mejor respuesta agronómica. Esto parece indicar una influencia del cultivar.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., automatización del riego, electrotensiómetros, producción comercial, productividad del agua

INTRODUCCIÓN

La provincia de Almería alberga la mayor superficie de invernaderos a nivel mundial y su principal sustento hídrico son las aguas procedentes de sistemas de acuíferos. Sin embargo, el gran déficit estructural de agua que lleva padeciendo esta provincia desde hace décadas ha originado un progresivo agotamiento de los recursos subterráneos de la zona que, a día de hoy, se encuentran en un estado crítico de sobreexplotación. Unido a esta situación se ha producido una creciente pérdida de calidad del agua debido a la contaminación por nitratos derivada de un uso poco racional del riego y los fertilizantes y la salinización por intrusión marina. De ahí que el uso eficiente del agua se haya convertido en uno de los mayores desafíos para la producción hortícola intensiva de Almería. Además, en la actualidad, existe otro motivo fundamental que presiona al sector productivo para que se realice un manejo más eficiente de los recursos y es que los consumidores y, por ende, los mercados tienen una clara preferencia por productos no sólo sanos y saludables, sino que también se hayan producido de manera respetuosa con el medio ambiente. Por tanto, un manejo óptimo del riego resulta fundamental para cumplir con todos estos aspectos. En este sentido, la programación del riego juega un papel determinante ya que puede reducir significativamente el consumo de agua. Sin embargo, la decisión de cuánto y cuándo regar se sigue haciendo, en un porcentaje muy alto, en base a la experiencia del propio agricultor. Desde finales de los 80, los enormes avances en la electrónica y tecnologías de la información han dado lugar a importantes progresos en el desarrollo, disponibilidad y aplicación de sensores para su uso en la programación del riego. La programación del riego empleando sensores resulta de interés porque ofrece la posibilidad de regar de acuerdo a las características individualizadas de invernaderos y cultivos y puede proporcionar un ajuste de mayor precisión de la frecuencia de riego a las necesidades del cultivo en cada momento del ciclo, reduciendo al mínimo las pérdidas de agua por drenaje a capas más profundas.

Numerosos trabajos de investigación realizados en condiciones de invernadero y suelo enarenado han demostrado la viabilidad del uso del tensiómetro para la programación del riego. Además de la alta precisión de la medida del estado hídrico del suelo tiene un bajo coste, simplicidad de uso y las medidas no están influenciadas ni por la temperatura ni por la salinidad, como sí ocurre con otros equipos de medida del contenido del agua en el suelo. Su rango de trabajo normalmente no es una limitación en este tipo de suelos generalmente húmedos.

Sin embargo, cuando se quiere emplear para la automatización del riego para que ésta resulte exitosa es determinante establecer un valor de potencial matricial de suelo adecuado para cada cultivo y condiciones de desarrollo.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de diferentes valores umbrales de potencial matricial del suelo sobre la producción y la productividad del agua de un cultivo de pimiento en invernadero. De esta manera se determinará el valor umbral de activación del riego más adecuado para la gestión automatizada del riego de este cultivo en invernadero.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el Centro IFAPA La Mojonera (Almería) en un invernadero parral multicapilla simétrico (de raspa y amagado) de 1.700 m² de superficie, de clima pasivo, con estructura metálica y cubierta plástica de polietileno. El sistema de cultivo es un suelo enarenado, característico de los cultivos hortícolas intensivos del sureste peninsular. En este caso está compuesto por una capa superior de arena de 8-10 cm de espesor, una capa de tierra de cañada aportada de textura franca de 20-30 cm de espesor y capa de suelo original de textura franco arenosa y elevada pedregosidad de 20-30 cm de espesor. El material vegetal implantado fue un cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cv. Parejo. El trasplante se realizó el 15 de septiembre de 2016 a un marco de 2 plantas.m² y el ciclo finalizó el 11 de mayo de 2017. El riego se aplicó mediante un sistema de riego localizado con emisores autocompensantes y antidrenantes de 3 L.h⁻¹ y un marco de riego de 2 emisores.m². La activación automática del riego se realiza mediante electrotensiómetros (Irrrometer Co, inc. Riverside, CA, USA) que transfieren los datos a un equipo de control (Sistema Red Himarcán[®]). El volumen aplicado en cada tratamiento fue medido con contadores volumétricos (M120, Elster, Iberconta S.A). El invernadero contaba con 12 lisímetros de drenaje de 1 m² de superficie, instalados a 50 cm de profundidad, descontando la capa de arena.

Se estableció un diseño experimental en bloques completos al azar con tres tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. Los tratamientos de riego tuvieron las consignas de -10 kPa, -15 kPa y -20 kPa y una dotación de 2 L.m⁻². Se determinaron la producción comercial (kg.m⁻²), el volumen de agua aplicado (L.m⁻²), volumen de drenaje (L.m⁻²) y productividad del agua (kg de fruto comercial por m³ de agua aplicado). Además, se determinó la ET_c empleando el software PrHo v 2.0 (© 2008 Fundación Cajamar; Fernández *et al.*, 2008). Este software utiliza el modelo FAO -56 Penman-Monteith adaptado a condiciones de invernadero (Fernández *et al.*, 2001; Orgaz *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2010). Los datos medios de temperatura interior del invernadero y radiación solar exterior empleados para el cálculo de la ET_c fueron obtenidos, respectivamente, a partir de las series de datos históricas de la Estación Experimental Las Palmerillas (15 años

de datos) y la Estación de La Mojonera de la Red de Información Agroclimática de Andalucía (diez años de datos).

Tratamiento	Potencial matricial del suelo (ψ_m)
T1	-10 kPa
T2	-15 kPa
T3	-20 kPa

Los datos se analizaron estadísticamente mediante análisis de la varianza (ANOVA) y se aplicó un test de comparación de medias cuando existieron diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran un claro efecto de los diferentes valores umbrales de potencial matricial del suelo establecidos en este ensayo sobre la cosecha de pimiento (*Tabla 1*). La producción fue significativamente mayor cuanto menor fue el valor umbral de tensión matricial establecido. De manera que, el tratamiento que activó el riego a -10 kPa (T1) obtuvo la mayor cosecha, 6,5 kg.m⁻², seguido por el tratamiento a -15 kPa (T2) que produjo una cosecha un 20% inferior a T1 y por último el tratamiento a -20 kPa que presentó una cosecha un 32% menor respecto a la obtenida con ese mismo tratamiento. A pesar de estas diferencias en cosecha, la distribución de la producción comercial por categorías comerciales no se vio alterada por los tratamientos. La mayoría de los frutos recolectados se clasificaron como frutos de categoría I con un peso medio superior a 420 g. Los frutos clasificados como categoría II, con un peso medio inferior a 250 g tan solo supusieron en torno a un 5-6% de la cosecha en los tratamientos T1 y T2 y un 8% de la cosecha en el tratamiento T3. En lo que respecta al destrío, tampoco se observaron diferencias entre tratamientos y resultó ser muy escaso, en torno al 3%. La diferente producción comercial obtenida entre tratamientos se debió tanto a un desigual número de frutos como a un diferente peso de los mismos (*Tabla 1*). Los tratamientos T2 y T3 con menor cosecha que T1 tuvieron un menor número y peso de frutos que este tratamiento. La pérdida de producción está asociada a riegos deficitarios.

El pimiento es considerado como uno de los cultivos hortícolas más susceptibles al estrés hídrico provocado por riegos insuficientes (Doorenbos y Kassam, 1979). Trabajos previos bajo condiciones de invernadero en Almería han mostrado en pimiento una relación lineal entre producción y evapotranspiración del cultivo (ETc) (Orgaz *et al.*, 2005), teniendo el riego deficitario un efecto significativo sobre la pérdida de producción y calidad de los frutos. En este sentido, los resultados de este ensayo muestran que los tratamientos de riego que proporcionaron volúmenes de agua por debajo de los requerimientos hídricos del cultivo tuvieron un efecto significativo sobre la pérdida de producción (*Fig. 1*). Estos datos contrastan con un ensayo previo a éste realizado en el mismo

invernadero y con unas condiciones de cultivo muy similares pero sobre un cultivar de pimiento más productivo y de mayor desarrollo vegetativo, en el que la consigna de -20 kPa fue la que presentó una mejor respuesta agronómica, igualando en producción a un tratamiento con valor umbral de -10 kPa pero con una mayor eficiencia en el uso del agua y los nutrientes (Alonso *et al.*, 2017). A pesar de que los rangos de humedad de suelo establecidos a lo largo del ciclo de cultivo en este ensayo fueron elevados, los valores de tensión matricial de T2 y T3 para este cultivar no fueron los más adecuados teniendo en cuenta que los volúmenes de agua aplicados resultaron ser inferiores a la ETc del cultivo y supusieron pérdidas de producción. Debido a esto, no se observó drenaje en ninguno de los tratamientos. En lo que respecta a la productividad del agua (kg de fruto comercial por m³ de agua aplicado), ésta fue significativamente mayor en los tratamientos T2 y T3 porque los volúmenes de agua aplicados fueron muy inferiores al aplicado en el T1 (Fig. 1). El tratamiento T1 presentó una productividad del agua de 13,9 kg.m⁻³ frente a los 17,0 kg.m⁻³ y 17,1 kg.m⁻³ que presentaron T2 y T3 respectivamente, sin existencia de diferencias significativas entre ambos tratamientos. Teniendo en cuenta que la producción comercial obtenida con el tratamiento T2 fue significativamente mayor que la del tratamiento T3, en las condiciones de desarrollo de este ensayo, el tratamiento T2 con una consigna de -15 kPa resultó ser más adecuada en términos de productividad del agua. La productividad del agua, expresada en térmicos productivos (kg.m⁻³) o económicos (€.m⁻³) es un indicador agronómico importante en áreas con recursos hídricos limitados y permite a los gestores analizar como el valor económico del agua de riego puede ser maximizado.

Los valores umbrales para pimiento descritos en bibliografía abarcan un amplísimo rango debido a que se han determinado en condiciones muy diferentes de cultivo. Al aire libre se han documentado valores de tensión matricial para pimiento de -25 kPa (Smittle *et al.*, 1994; Beese *et al.*, 1982), de -45 a -65 kPa (Hedge, 1988) y hasta de -100 kPa (Tedeschi y Zerbi, 1984). En condiciones de invernadero, Thompson *et al.* (2007) en un ensayo en el que se midió el potencial hídrico en plantas sometidas a estrés hídrico frente a plantas bien regadas determinaron que -58 kPa es el valor umbral de tensión matricial del suelo a partir del cual se produce una reducción del potencial hídrico. Estos valores de potencial matricial de suelo descritos en bibliografía y los obtenidos en este ensayo y en un estudio previo (Alonso *et al.*, 2017) ponen en evidencia, una vez más, la influencia de factores específicos del sitio y condiciones de cultivo sobre la determinación del valor umbral adecuado para cada cultivo.

CONCLUSIONES

Los diferentes valores umbrales de potencial matricial del suelo establecidos en este ensayo han tenido un claro efecto sobre la cosecha y la productividad del agua en el cultivo de pimiento bajo invernadero. La producción fue significativamente mayor cuanto menor fue el valor umbral de tensión matricial estableci-

do. El tratamiento T1 con -10 kPa arrojó los mayores rendimientos productivos, pero resultó ser el menos eficiente en el uso del agua debido al elevado volumen de agua consumido. Por el contrario, los tratamientos T2 y T3 resultaron ser los más eficientes, pero con pérdidas de producción frente al T1.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, F.; CONTRERAS, J.I.; CÁNOVAS, G.; GAVILÁN, P.; BAEZA, R. 2017. *Gestión del riego automatizado con tensiómetros en pimiento cultivado en invernadero*. VIII Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas. Libro de resúmenes. p. 91.

BEESE, F.; HORTON, R.; WIERENGA, P.J. 1982. *Growth and yield response of chile pepper to trickle irrigation*. Agron. J. 74: 556-561.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. 1979. *Yield response to water*, FAO. Irrigation and Drainage Paper 33, FAO, Rome, Italy.

FERNÁNDEZ, M. D.; BONACHELA, S.; ORGAZ, F.; THOMPSON, R. B.; LÓPEZ, J.C.; GRANADOS, M. R.; GALLARDO, M., FERERES, E. 2010. *Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspiration in a Mediterranean climate*. Irrigation Science 28: 497-509.

FERNÁNDEZ, M.D.; ORGAZ, F.; FERERES, E.; LÓPEZ, J.C.; CÉSPEDES, A.; PÉREZ-PARRA, J.; BONACHELA, S.; GALLARDO, M. 2001. *Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español*. Cajamar (Caja Rural Intermediterránea), Almería, Spain, 78 pp.

HEDGE, D.M. 1988. *Irrigation and nitrogen requirements of bell pepper (Capsicum annuum L.)*. Indian J. Agric. Sci. 58: 668-672.

ORGAZ, F.; FERNÁNDEZ, M.D.; BONACHELA, S.; GALLARDO, M.; FERERES, E. 2005. *Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse*. Agric. Water Manage. 72: 81-96.

SMITTLE, D.A.; DICKENS, W.L.; STANSELL, J.R. 1994. *Irrigation regimes affects yield and water use by bell pepper*. J. Am. Soc. Hort. Sci. 119: 936-939.

TEDESCHI, P., ZERBI, G. 1984. *Flowering and fruiting courses and yield of sweet peppers (Capsicum annuum L.) plants grown in lysimeters with relation to different water regimes*. Rivista di Ortoflorofrutticoltura Italiana 68: 323-329.

THOMPSON, R.B.; GALLARDO, M.; VALDEZ, L.C.; FERNÁNDEZ, M.D. 2007. *Using plant water status to define soil water threshold values for irrigation management of vegetable crops using soil moisture sensors*. Agric. Water Manage. 88: 147-158.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del “Proyecto de Transferencia de Tecnología al Regadío (PP.TRA.TRA201600.3), siendo cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Rural (FEDER) y la Consejería de Agricultura y Pesca (IFAPA-Junta de Andalucía).

TABLAS

Tabla 1. **Producción comercial, número y peso medio de los frutos de pimiento obtenidos por tratamiento. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$).**

Tratamiento	Categoría I			Categoría II (peso < 250 g)			Destrío (%)
	Producción comercial (kg.m ⁻²)	Número frutos (n°.m ⁻²)	Peso frutos (g.m ⁻²)	Producción comercial (kg.m ⁻²)	Número frutos (n°.m ⁻²)	Peso frutos (g.m ⁻²)	
T1	6,2 a*	13,6 a	456,3 a	0,3	1,6	223,8	2,8
T2	4,9 b	11,3 b	434,2 b	0,3	1,4	239,7	3,1
T3	4,0 c	9,5 c	423,4 c	0,4	1,7	226,1	3,0

*Comparación de medias en columnas mediante el test LSD

FIGURAS

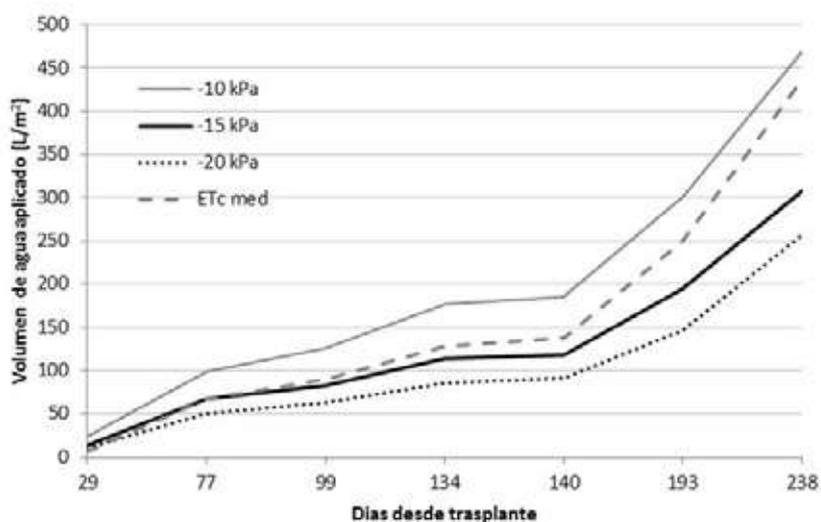


Figura 1. **Volúmenes de agua aplicados en cada tratamiento de riego a lo largo del ciclo de cultivo de pimiento y ETc calculada a partir de datos climáticos medios (ETc med).**