

MEJORA DEL USO Y GESTIÓN DEL AGUA DE RIEGO EN INVERNADERO

M^a D. FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ (P)
A. M^a GONZÁLEZ CÉSPEDES
J.C. LÓPEZ HERNÁNDEZ
A. CÉSPEDES LÓPEZ
J. PÉREZ-PARRA

RESUMEN

Los servicios de asesoramiento al regante (SAR) juegan un papel muy importante en la adopción de nuevas técnicas y tecnologías que permitan una mejora del uso y gestión del agua de riego, un aumento de la productividad, minimicen los problemas medioambientales y contribuyan a la sostenibilidad del sector.

En los cultivos hortícolas bajo invernadero en el sureste español esta labor la ha llevado a cabo desde el año 1975 la Estación Experimental de la Fundación Cajamar, y los servicios prestados han sido:

1. Información agrometeorológica: se dispone de una importante serie histórica, más de 30 años, de datos climáticos recogidos en dos estaciones agrometeorológicas, una bajo invernadero, con entorno de gramíneas, y otra en exterior, con entorno de barbecho.
2. Determinación de las necesidades hídricas de los cultivos bajo invernadero que eran desconocidas. Recientemente se ha desarrollado un modelo que permite estimar las necesidades hídricas (ETc) a partir de datos de radiación solar exterior y temperatura de dentro de invernadero.
3. Análisis de la gestión del agua de riego en zonas regables del Poniente de Almería: para ello se ha utilizado como indicador de gestión del riego el Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS), definido como el cociente entre la cantidad total de agua de riego aportada por el agricultor y las necesidades hídricas totales del cultivo. En general, los valores medios de RIS están muy próximos a 1, es decir, los aportes de riego se ajustaron a los requerimientos hídricos.
4. Evaluación de la uniformidad de aplicación de los sistemas de riego localizado.
5. Difusión de la información a través de publicaciones técnicas y científicas, web, televisión, periódicos, seminarios, cursos, charlas, visitas, etc.

La aplicación de esta información junto con el uso de sistemas de riego por goteo ha permitido que el consumo de agua de una hectárea de invernaderos haya pasado de los

7.000 m³/año en 1982 a 5.000 m³/año en la actualidad, lo que ha supuesto un ahorro de agua de riego del 28%.

Palabras clave: Asesoramiento al regante, riego, hortícolas, invernadero.

1. INTRODUCCIÓN

Un servicio de asesoramiento al regante (SAR) tiene como finalidad prestar asistencia técnica a los regantes para que se haga un buen uso del agua de riego. En zonas con recursos hídricos limitados o de mala calidad o cuando el precio es elevado los SAR han tenido un mayor desarrollo (Smith y Muñoz, 2002). El SAR más conocido y que ha servido de modelo a otros servicios es el CIMIS (California Irrigation Management Information System). En España, en cultivos de regadío al aire libre se han desarrollado varios servicios de asesoramiento al regante en Andalucía, Murcia, Castilla-La Mancha, Navarra, etc.

El clima benigno de la costa mediterránea ha propiciado un importante crecimiento de la superficie invernada dedicada a la producción hortícola fuera de estación. El principal exponente de este tipo de agricultura es Almería, con una temperatura media anual de 18 °C, donde en la actualidad hay 27.000 ha de invernadero (Sanjuán, 2004). La producción hortícola de esta zona representa el 26,5% y 6% de la producción final agraria de Andalucía y España, respectivamente (García-Torrente, 2005), y el 35% de la exportación hortícola española (SOIVRE, 2000). Debido a la escasez de lluvia, la precipitación media es de 220 mm, los recursos hídricos son limitados y en su mayoría proceden de extracciones de acuíferos. La escasez de recursos, junto con el elevado coste del agua, ha llevado a que tanto agricultores como instituciones presten especial interés a los temas relacionados con el uso del agua en invernadero. Consciente de la importancia que tenía un recurso tan escaso en nuestra zona y vital para el desarrollo y sostenibilidad de toda la industria hortícola, la Estación Experimental de la Fundación Cajamar, desde su fundación en el año 1975, ha llevado a cabo trabajos en esta área con el objetivo fundamental de promover la adopción de nuevas técnicas y tecnologías que permitan una mejor gestión del agua de riego, un aumento de la productividad, se minimicen los problemas medioambientales y contribuyan a la sostenibilidad del sector. En este trabajo se recogen las principales actividades desarrolladas en asesoramiento al regante en cultivos hortícolas bajo invernadero.

2. ACTIVIDADES DESARROLLADAS

2.1. Información agrometeorológica

Para llevar a cabo un buen asesoramiento en el uso del agua de riego es indispensable contar con información agrometeorológica de la zona que sea fiable y que se pueda ofrecer de manera continua. En nuestro caso se dispone de una importante serie histórica, más de 30 años, de datos climáticos recogidos en dos estaciones agrometeorológicas, una bajo invernadero con entorno de gramíneas y otra en exterior con entorno de barbecho. En la actualidad, se puede acceder a datos diarios de temperatura, humedad relativa, radiación, evaporación, precipitación y viento a través nuestra página web (<http://www.fundacioncajamar.es>).

2.2. Determinación de las necesidades hídricas de los cultivos bajo invernadero

En cultivos al aire libre, el modelo más ampliamente usado para estimar las necesidades hídricas de los cultivos es el modelo de la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977). Con este modelo la dosis de riego se estima a partir de datos meteorológicos e información básica de desarrollo del cultivo. Este modelo se ha calibrado para su uso en cultivos en invernadero (Fernández, 2000; Fernández *et al.*, 2001), y las necesidades hídricas (ETc) se estiman a partir de datos de radiación solar exterior y temperatura de dentro de invernadero. El efecto del clima sobre las necesidades hídricas se determina a partir de los datos de radiación, permitiendo adaptar las estimaciones a cualquier tipo de invernadero y condiciones de cultivo, como el encalado de la cubierta. Además tiene la ventaja de no requerir sensor de radiación, ya que se pueden utilizar datos de estaciones meteorológicas próximas. La temperatura máxima y mínima medida dentro de invernadero permite estimar el efecto del cultivo sobre las necesidades hídricas, y por tanto que las estimaciones se adapten al tipo de cultivo y a las distintas fechas de plantación.

A partir de una serie histórica de datos de radiación solar exterior y temperatura bajo invernadero se han elaborado recomendaciones de dosis de riego para los cultivos hortícolas bajo invernadero (figura 1a). También se ha desarrollado un software (PrHo v. 1.0, figura 1b) que permite estimar las necesidades hídricas con datos climáticos del día anterior (programas de riego a tiempo real) y datos climáticos medios de una serie histórica (programas de riego medios). Ambas utilidades están disponibles para técnicos y agricultores de forma gratuita en <http://www.fundacioncajamar.com>.

Estas recomendaciones de riego se han evaluado experimentalmente en varios ciclos de cultivo completos (González, 2003). En general, la aplicación de las dosis de riego estimadas ha permitido mantener un contenido hídrico en el suelo óptimo, valores de potencial matricial entre -20 y -30 kPa (figura 2), para el normal desarrollo del cultivo.

También se han llevado a cabo trabajos que tenían como objetivo mejorar la gestión del riego en suelo, y la frecuencia de riego es un aspecto importante a tener en cuenta. En general, los cultivos hortícolas son muy sensibles a la falta de agua, por lo que los riegos son aplicados frecuentemente. Además, existe la tendencia a manejar los cultivos hortícolas bajo invernadero y en suelo de forma similar a los cultivos en sustrato. Se ha estudiado el efecto de dos frecuencias de riegos sobre la productividad y desarrollo radicular de los cultivos hortícolas en invernadero y suelo enarenado. Para ello, se comparó un riego de alta frecuencia (RAF: uno o más riegos diarios) con una frecuencia de riego convencional (RC: riegos cada 2-3 días hasta un riego diario). La respuesta productiva del cultivo a la frecuencia de riego varió según el ciclo de cultivo (González, 2003). En los ciclos de otoño-invierno, en general, la productividad total y comercial se redujo al aumentar la frecuencia de riego (RAF), mientras que en los ciclos de primavera no hubo una tendencia productiva clara a la frecuencia de riego. En cuanto al desarrollo radicular, cuando el cultivo fue regado con alta frecuencia (RAF) las raíces se concentraron alrededor del gotero y la planta, mientras que con una frecuencia de riego baja, 1 a 2 riegos semanales, la distribución de raíces fue más uniforme, tanto a lo largo como a lo ancho del perfil (González, 2003).

2.3. Análisis de la gestión del agua de riego en zonas regables del Poniente de Almería

En los últimos años se ha desarrollado una metodología que permite evaluar la eficiencia y la gestión del riego en explotaciones. Para ello se han desarrollado una serie

de indicadores o índices que caracterizan el funcionamiento del sistema de riego y pueden ayudar a optimizar los recursos y encontrar una solución de compromiso entre la equidad y la eficiencia del agua de una zona regable (Malano y Burton, 2000).

Estos indicadores se han aplicado a explotaciones hortícolas de invernadero pertenecientes a la zona del Poniente de Almería para analizar la gestión del riego (Fernández *et al.*, 2007; González, 2003). En las explotaciones seleccionadas, que contaban con sistema de riego por goteo, se midió la cantidad de agua de riego aportada con contadores volumétricos y la producción comercial por cultivo durante seis campañas agrícolas (1993/94 a 1998/99). El principal indicador de gestión del riego utilizado ha sido el Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS), definido como el cociente entre la cantidad total de agua de riego aportada por el agricultor y las necesidades hídricas totales del cultivo. Los aportes medios de agua de riego por cultivo fueron de 228 litros/m², y el aporte medio por campaña agrícola fue de 444 litros/m², oscilando entre 363 litros/m² para pimiento de otoño-primavera y los 502 litros/m² para la rotación de pimiento de otoño y melón de primavera. En general, los valores medios de RIS están muy próximos a 1, es decir, los aportes de riego se ajustaron a los requerimientos hídricos.

2.4. Caracterización y evaluación de los sistemas de riego localizado

En general, el uso de sistemas de riego localizados conlleva un uso más eficiente del agua de riego, pero además es necesario que su diseño y calidad sean óptimos para que tenga una elevada uniformidad de aplicación. Los sistemas de riego y de fertilización han evolucionado rápidamente desde sistemas de riego a pie o inundación a sistemas de riego por goteo, y desde una aplicación de fertilizantes manual a modernos programadores. Las instalaciones de riego de los agricultores se han caracterizado con precisión en los invernaderos de Almería a partir de encuestas realizadas a 461 productores (Pérez-Parra y Céspedes, 2001). Los resultados obtenidos en la encuesta (tabla 1) muestran que toda la superficie de invernaderos emplea el sistema de riego localizado, siendo el gotero interlínea el emisor más utilizado y la totalidad es empleado en sistemas de cultivo en suelo. El gotero autocompensante tiene una presencia importante, estando muy ligado a los cultivos hidropónicos. También cabe destacar la importante renovación que han sufrido los sistemas de riego por goteo, ya que el 80,9% de la superficie tenía emisores con menos de 10 años, y de ésta el 55,1% tenía menos de 5 años. Esto ha contribuido a aumentar la uniformidad de aplicación de los goteros, así en el año 1984 tan sólo el 4% de las instalaciones tenía una uniformidad excelente. El motivo fundamental de la baja uniformidad en la aplicación del agua era la deficiente calidad de los goteros y que las tuberías evaluadas no estuviesen fabricadas con la materia prima adecuada ni con las normas vigentes. En la actualidad, la calidad de los goteros ha mejorado considerablemente, lo que se ha traducido en un aumento de la uniformidad, estimándose que el 81% de las instalaciones presentan una uniformidad excelente.

Los sistemas de incorporación de fertilizantes más usuales son la abonadora y el venturi (tabla 1), sin embargo, la tendencia en la instalación de equipos de fertilización es a la utilización creciente de venturis en detrimento de las abonadoras. Otro factor de creciente incorporación en las instalaciones de riego es el programador de riego, un 30,5% de las fincas cuentan con programador, y han permitido la automatización de la operación del riego y abonado.

2.5. Difusión de la información

Para la difusión de la información generada sobre este tema en estos más de 30 años se han utilizado varios medios, y la información se ha adaptado en función del receptor. Las principales vías de comunicación empleadas han sido:

- Internet: en <http://www.fundacioncajamar.com> es posible acceder a publicaciones de carácter científico y técnico, así como el acceso a las herramientas desarrolladas para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos bajo invernadero (figura 3). A través de esta vía también se accede a los datos climáticos tanto de exterior como bajo invernadero (figura 4).
- Periódicos y televisión local. A través de estos medios se difunden las estimaciones de riego desde hace tres años.
- Distribución de publicaciones técnicas: se han distribuido más de 3.000 ejemplares de la publicación «Dosis de riego para los cultivos bajo invernadero en Almería» (figura 1a). Esta publicación fue diseñada con el fin de proporcionar a técnicos y agricultores una herramienta que les permita optimizar los aportes de riego a los cultivos hortícolas bajo invernadero, y que además sea fácilmente utilizable.
- Distribución de material y guía para realizar la evolución de la uniformidad de emisión de instalaciones de riego.
- Publicación de artículos de carácter científico en revistas nacionales e internacionales.
- Contribuciones a congresos nacionales e internacionales.
- Participación de seminarios, cursos, charlas, etc.
- Visitas.

La aplicación de esta información junto con el uso de sistemas de riego por goteo ha permitido una reducción importante en el uso del agua, así el consumo de agua de una hectárea de invernaderos ha pasado de los 7.000 m³/año en 1982 a un consumo de 5.000 m³/año en la actualidad (Fernández *et al.*, 2007). Esto ha conllevado un aumento en la eficiencia en el uso del agua, definida como el cociente entre el rendimiento y el volumen de agua de riego aplicado (kg/m³) o se puede expresar en términos económicos (€/m³). La eficiencia en el uso del agua (kg/m³) de los cultivos hortícolas bajo invernadero es considerablemente más elevada (puede llegar a ser el doble) que la de los cultivos al aire libre, fundamentalmente debido a las condiciones climáticas dentro del invernadero, que reducen la demanda evaporativa, y a sus mayores rendimientos. La combinación de altos precios de mercado al ser productos fuera de estación, altas productividades y bajo consumo hídrico pueden explicar los elevados valores de la eficiencia en el uso del agua en términos económicos en cultivos de invernadero en Almería que alcanzan valores promedio de 13,5 €/m³ frente a valores de 1,6 €/m³ de los cultivos hortícolas de aire libre.

Tabla 1. Características principales de los sistemas de riego y fertilización en los invernaderos de Almería (Pérez-Parra y Céspedes, 2001)

Sistema de riego	Invernaderos (%)	Superficie (%)
Sistemas de riego localizado	99,41	99,69
Gotero autocompensante	14,46	19,75
Gotero interlínea	83,70	77,85

Sistema de fertilización	Fincas (%)	Antigüedad
Programador	30,70	
Abonadora	52,4	9,2
Inyección	11,2	3,3
Venturi	33,1	3,8

Figura 1. Recomendación de dosis de riego para cultivos bajo invernadero (a) y software PrHo (b)

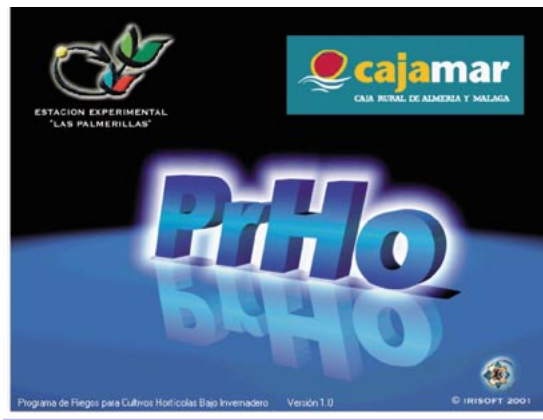


Figura 2. Evolución del potencial matricial medido a 0,12 m de profundidad bajo la capa de arena en un ciclo de cultivo de tomate (a) y en un ciclo de judía (b)

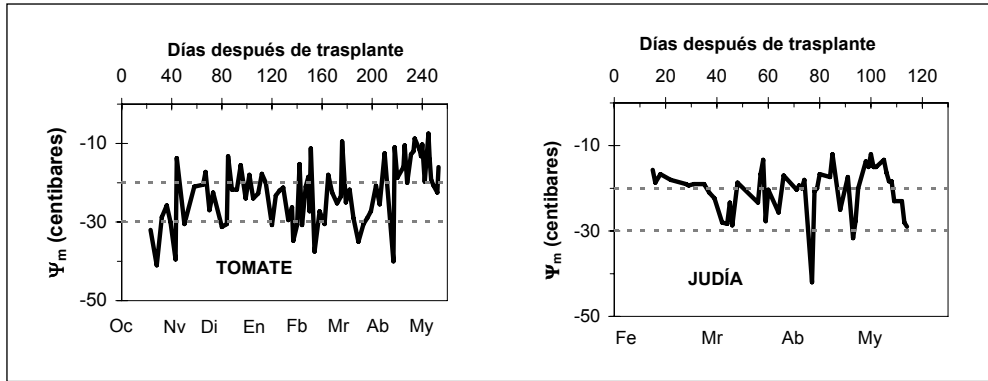


Figura 3. Ejemplo de la presentación de la sección de necesidades de riego de la web



Figura 4. Ejemplo de la información agrometeorológica que se puede encontrar en la web

FICHA DE DATOS DIARIOS							
ESTERIO				INVERNADERO			
Temperaturas (°C)		Humedad Relativa (%)		Temperaturas (°C)		Humedad Relativa (%)	
Máxima	22,8	Máxima	98,0	Máxima	27,8	Máxima	100
Mínima	13,0	Mínima	66,1	Mínima	13,5	Mínima	100,7
Media	18,4	Media	78,2	Media	19,1	Media	94,1
Rad. Solar (kWh/m ² día)		Rad. PAR (µmol/m ² s)		Rad. Solar (kWh/m ² día)		Rad. PAR (µmol/m ² s)	
4,5		Media		2,8		Media	
Evaporación (mm/día)				E _{Ta} (mm/día)			
Acumulada				Acumulada			
				2,0			
Lluvia	Precipitación (mm/día)						
Viento	Velocidad Media (Km/h)	7,2	D. Media (Nºº)	208	Racha Máxima (Km/h)	10,50	D. Racha Máxima (Nºº)

3. BIBLIOGRAFÍA

- DOORENBOS, J. y PRUITT, W.O. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje, n°24.
- FERNÁNDEZ, M.D. 2000. Necesidades hídricas y programación de riegos en los cultivos hortícolas en invernadero y suelo enarenado de Almería. Tesis doctoral,
- FERNÁNDEZ, M.D.; ORGAZ, F.; FERERES, E.; LÓPEZ, J.C.; CÉSPEDES, A.; PÉREZ, J.; BONACHELA, S. y GALLARDO, M. 2001. Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español. Cajamar (Caja Rural Intermediterránea), Almería. 78.
- FERNÁNDEZ, M.D.; GONZÁLEZ, A.M.; CARREÑO, J.; PÉREZ, C. y BONACHELA, S. 2007. Analysis of on-farm irrigation performance in Mediterranean greenhouses. *Agricultural Water Management* 89:251-260.
- GARCÍA-TORRENTE, R. 2005. El sector agrario. En: La economía de la provincial de Almería. Colección Economía. Caja Rural Intermediterránea (ed.). Cajamar, Almería, España, pp. 153-208.
- GONZÁLEZ, A.M. 2003. Programas de riego para cultivos hortícolas en invernaderos enarenados en Almería. Tesis doctoral.
- MALANO, H. y BURTON, M. 2000. Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector. IPTRID Secretariat. IPTRID Secretariat. FAO, Roma. Italia.
- PÉREZ-PARRA, J. y CÉSPEDES, A. 2001. Análisis de la demanda de inputs para la producción en el sector de cultivos protegidos de Almería. En: Estudio de la demanda de inputs auxiliares: producción y manipulación en el sistema productivo agrícola almeriense. Ed. FIAPA, Almería, 2001.
- SANJUÁN, J.F. 2004. Estudio multitemporal sobre la evolución de la superficie invernada en la provincia de Almería por términos municipales desde 1984 hasta 2004 me-

- dian­te teledetección de imágenes Thematic Mapper de los satélites Landsat V y VII. FIAPA, Almería, España. 98 pp.
- SMITH, M. y MUÑOZ, G. 2002. Irrigation Advisory Services for effective water use: a review of experiences. Workshop on Irrigation Advisory Services and Participatory Extension in Irrigation Management, FAO-ICID. Proceedings on line: <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/ias/docs/paper9.pdf>.
- SOIVRE. 2000. Exportaciones operadores exceptuados, Almería. Ministerio de Economía y Hacienda, Secretaría de Estado de Comercio, Turismo y de la Pequeña y Mediana Empresa, Secretaría General de Comercio Exterior. 29 pp.