

EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN DISTINTOS SISTEMAS HORTÍCOLAS

M^a Dolores Fernández Fernández

Estación Experimental de Cajamar "Las Palmerillas". Autovía del Mediterráneo, km 416,7. 04710 El Ejido (Almería). E-mail: mdfernandez@cajamar.es. www.laspalmerillas.cajamar.es.

1. Introducción

El regadío es de gran importancia en las regiones semiáridas, tanto para asegurar cosechas en invierno, como para producir cultivos de alto valor económico en verano, que en situaciones de secano serían inviables. Las cifras claramente ponen de manifiesto la importancia económica de los regadíos, por ejemplo, en Andalucía, el regadío supone el 19% de la superficie cultivada, sin embargo genera el 53% de la producción final agraria; en Castilla-La Mancha la superficie dedicada a regadío representa el 11,2% de la superficie cultivada y genera más del 40% de la producción final agrícola. Además, también contribuye a la riqueza y generación de empleo en una zona, así una hectárea de regadío tiene una productividad seis veces superior a una de secano y genera una renta cuatro veces superior, y da empleo a 0,141 UTA frente a 0,037 UTA de una hectárea de secano.

A pesar del beneficio económico que aporta la creación de nuevas superficies de regadío no hay que perder de vista la reducción de ayudas comunitarias y la entrada de la Directiva Marco Comunitaria de Política de Aguas, en la que se obliga a los estados miembros a cobrar a los agricultores el precio real del agua, lo que va a suponer un coste añadido, el precio del agua, que no tendrán en otras zonas de Europa. Bajo este contexto, es importante estudiar la eficiencia de los regadíos para detectar ineficiencias locales, así como las posibilidades de mejora para las zonas con mayor potencial de crecimiento o indicaciones sobre los cultivos que producirían un mayor beneficio económico o que su consumo de agua, por reducido, les haga aconsejables. La disponibilidad de estos datos es de máxima utilidad para organismos gestores en condiciones de sequía o para la elaboración de planes de modernización de regadíos.

2. Eficiencia en el uso del agua

La eficiencia en el uso del agua (EUA) a nivel biológico se ha definido como el cociente entre los carbohidratos formados con la fotosíntesis y la transpiración (Sinclair et al., 1984). Cuando se aplica el término EUA a la agricultura de regadío

puede llegar a confundir y su definición es más compleja (Howell, 2001). Por ello, las eficiencias clásicas usadas en riego se han sustituido por un conjunto de indicadores que expresan la productividad del agua en términos de rendimiento (kg m^{-3}) o económicos (€ m^{-3}) (Sarma y Rao, 1997; Droogers y Kite, 1999). Droogers y Kite (1999) propusieron varios indicadores para expresar la productividad del agua (PW) en términos de rendimiento (kg m^{-3}):

$$PW_i = \frac{\text{Productividad}}{\text{Riego}}$$

$$PW_p = \frac{\text{Productividad}}{\text{Transpiración}}$$

La Tabla I muestra la productividad del agua, en términos de rendimiento, de tres cultivos hortícolas en sistemas de cultivo de gran importancia. Los cultivos de regadío al aire libre suponen aproximadamente el 15% de la superficie cultivable a nivel mundial. La superficie de invernaderos en el mundo es superior a las 700.000 ha con un crecimiento continuo, y se concentran principalmente en Asia (China y Japón), en la cuenca Mediterránea y en países del norte de Europa. La cuenca Mediterránea alberga unas 130.000 ha de invernaderos, destacando Almería con 27.000 ha, y donde se ha optado por invernaderos de bajo coste de construcción, con mínimo uso de energía, que generan condiciones climáticas subóptimas en ciertas épocas y de menores prestaciones productivas, pero con costes de producción inferiores. Por el contrario en los invernaderos del norte de Europa, donde destaca Holanda con 9.500 ha, se ha optado por la “máxima modificación climática”, lo que supone un alto consumo de energía por calefacción (en Holanda el consumo de combustible está entorno a 36 litros de combustible m^{-2} y una emisión de gases de 800 $\text{Tn ha}^{-1} \text{año}^{-1}$), lo que repercute en unos mayores costes de cultivo (Stanghellini et al., 2003).

Comparativamente, los cultivos en invernadero presentan productividades del agua (kg m^{-3}) muy superiores a la que presentan estos cultivos al aire libre (Tabla I) y son varios factores los que intervienen:

- Necesidades de riego menores bajo invernadero debido a una menor demanda evaporativa por la alteración climática que ejerce el invernadero respecto al clima exterior (reducción de la radiación solar, velocidad del viento y déficit de presión de vapor), y a que los ciclos de cultivo se desarrollan en épocas de menor demanda.
- A la mayor productividad (kg m^{-2}) bajo invernadero ya que los ciclos de cultivo normalmente son más largos, variedades más productivas, técnicas de cultivo, etc.

- A la aplicación de tecnología en el riego (riego por goteo e hidropónico)

Comparando los valores de PW de los invernaderos sin climatizar con respecto a los invernaderos climatizados, nos indica que existiría un importante margen para aumentar la eficiencia (Tabla I). Sin embargo, el indicador PW (productividad del agua) es un cociente, y las variaciones en su valor pueden ser debidas a variaciones en el rendimiento (o precios) o en el riego, por tanto es importante identificar la causa que ha provocado la variación para hacer una correcta interpretación. Básicamente, la productividad del agua es mayor en los invernaderos climatizados, que se localizan en el norte de Europa, por un menor uso de agua para riego, ya que la demanda climática es menor, y a la mayor productividad de los cultivos (kg m^{-2}), por unas condiciones climáticas más favorables y densidades de plantación mayores. Considerando únicamente PW, nos podría llevar a considerar que en los invernaderos sin climatizar es necesario la adopción de sistemas de climatización para aumentar el rendimiento y/o reducir el agua de riego. Por tanto, para la ayuda a la toma de decisiones es importante contar con ensayos que evalúen el aumento productivo y rentabilidad económica de la aplicación de sistemas de climatización en unos invernaderos que se localizan en zonas con buenas condiciones de insolación y temperaturas invernales suaves, muy distintas de las que se registran en los países del norte de Europa. Existen varios trabajos que muestran que la aplicación de calefacción en invernaderos en Almería produce un aumento del rendimiento (kg m^{-2}), sin embargo su aplicación generalizada se ve limitada por la baja rentabilidad económica (López et al., 2000; López, 2003).

Sin embargo, el principal factor que nos va a indicar la posibilidad de aumentar PW es el manejo del agua de riego en las explotaciones agrícolas. Para evaluar el manejo de agua de riego se utilizan una serie de índices de gestión del riego (Molden y Gates, 1990; Kalu et al., 1995; Malano y Burton, 2000), como el Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS), definido como el cociente entre la cantidad total de agua de riego aportada y las necesidades hídricas totales del cultivo (NH). Para evaluar el manejo del riego en los invernaderos de Almería, se midió la cantidad de agua de riego aportada por cultivo con contadores volumétricos y producción durante seis campañas agrícolas (1993/94 a 1998/99) en 41 invernaderos representativos del Poniente de Almería (González, 2003). La Tabla 2 muestra los valores medios del suministro relativo de agua de riego (RIS) para los principales cultivos. Los valores medios de RIS fueron ligeramente superiores a 1 en judía de primavera, igual a 1 en melón y pimiento en ciclo largo, y ligeramente inferiores a 1 en sandía y pimiento en ciclo de otoño, es decir los aportes de riego medios se ajustaron a los requerimientos hídricos. En cambio, en pepino los aportes

fueron muy superiores a los requerimientos hídricos, mientras que la judía de otoño presentó valores intermedios de RIS (Tabla 2).

Por tanto, en el cultivo de judía y pepino en ciclo de otoño existe la posibilidad de mejorar PW (kg m^{-3} ó € m^{-3}) reduciendo los aportes de riego, que son claramente excedentarios en pepino ($\text{RIS}=1,6$). Sí los agricultores adoptan métodos de programación de riego, que están disponibles para los cultivos de la zona (www.laspalmerillas.cajamar.es), y los aportes de riego se aproximan a los requerimientos del cultivo la productividad del agua en judía aumentaría ligeramente ($16,1 \text{ kg m}^{-3}$ y 18 € m^{-3}), y sería muy superior en pepino ($47,1 \text{ kg m}^{-3}$ y $19,7 \text{ € m}^{-3}$).

Comparar la eficiencia en el riego entre sistemas de cultivos, áreas regables, etc., en base única y exclusivamente en base a PW no sería correcto y nos podría conducir a adoptar soluciones que no sean rentables para los productores.

Tabla I: Productividad del agua, PW (Kg m^{-3}) de distintos cultivos de regadío en diferentes condiciones climáticas y de cultivo.

Condiciones de cultivo	Zona	Tomate	Pimiento	Melón
Aire libre	Israel	17		
	Francia	14		
	USA		11	16,2
	Castilla-La Mancha (España)	6,8	4,04	4,0-9,9
	Navarra (España)	8,5	1,7	
	Córdoba (España) (aire libre) (acolchado)		2,4 4,5	
Invernadero sin climatizar	Israel (suelo)	33		
	Francia (suelo)	24		
	Almería (España) suelo (ciclo: agosto a mayo)	37,5	16,9	
	Almería (España) suelo (ciclo: agosto a enero)	25	21	
	Almería (España) suelo (ciclo: enero a junio)	16		22,8
Invernadero climatizado	Francia (hidropónico)	39		
	Holanda (hidropónico)	45	33	

Tabla 2. Aportes de agua de riego, necesidades hídricas, suministro relativo de agua de riego (RIS) y la productividad del agua en términos de rendimiento (Kg m^{-3}) y en términos económicos (€ m^{-3}) para los principales ciclos de cultivo evaluados en las explotaciones hortícolas del Poniente de Almería

CULTIVOS

	Ciclo Otoño			Ciclo Primavera			(ciclo: agosto a mayo)
	Pimiento	Pepino	Judía	Melón	Sandía	Judía	Pimiento
Aportes de riego (mm)	311	270	158	177	189	197	363
Necesidades hídricas (mm)	342	169	140	191	209	207	362
RIS	0,95	1,63	1,18	1,00	0,92	1,03	1,02
€ m ⁻³	13,1	12,4	15,9	10,1	7,8	15,4	8,7
Kg m ⁻³	21,0	33,2	15,3	22,8	35,6	16,8	16,9

3. Estudio de la eficiencia del regadío

Para el estudio de la eficiencia del regadío a una escala superior, por ejemplo región, se ha propuesto la aplicación de las técnicas DEA (Data Envelopment Analysis) para identificar y comparar los distintos tipos de regadíos de Andalucía (Rodríguez et al., 2001). Las técnicas DEA, además de indicar la eficiencia relativa de cada área de riego, permiten estimar numéricamente hacia donde se deben dirigir los esfuerzos de mejora, indicando para cada caso cuales son los inputs que van a hacer que una zona puesta en regadío pierda eficiencia y en qué cantidad habría que reducirlos para que un área de riego llegue a ser eficiente.

Para estudiar la eficiencia de los regadíos de Andalucía con las técnicas DEA se ha considerado como inputs la superficie puesta en riego (ha), la mano de obra empleada (UTA) y el volumen total de agua aplicada en el área de riego (hm³), y como outputs el valor total de la producción agrícola (€). La aplicación de las técnicas DEA ha permitido dividir el regadío andaluz en tres zonas homogéneas, la zona interior, el litoral atlántico y el litoral mediterráneo (Rodríguez et al., 2001).

La zona interior abarca las provincias de Jaén, Córdoba y Sevilla, y son regadíos que están incluidos en la cuenca del Guadalquivir. En esta zona predomina la agricultura extensiva y en donde se observa una clara relación entre riego localizado en olivar y el aumento de la eficiencia.

El litoral atlántico, abarca las áreas de riego de Huelva y Cádiz, es una zona de alta eficiencia en su conjunto, pero con valores más altos en las áreas de riego dedicadas al cultivo de la fresa con riego localizado.

En la zona del litoral mediterráneo, es muy heterogénea, pero que muestra claramente que la eficiencia viene ligada al aumento de la superficie dedicada a invernaderos y regada mediante riego localizado.

Como punto común a las tres zonas, se observa una tendencia que parece indicar que una modernización de los regadíos, hacia sistemas de riego localizado, podría llevar a un aumento global de la eficiencia (Rodríguez et al., 2001). La alternativa de cultivos empleada, siempre será de suma importancia, debido a que

cultivos de alto valor económico, siempre van a hacer que sea más rentable el agua aplicada a estos cultivos que a extensivos con menor margen de rentabilidad (Rodríguez et al., 2001).

El uso de los indicadores de gestión del riego son muy útiles para detectar ineficiencias locales y las posibilidades de mejora en cada área regable. Existen diferentes tipos de índices o indicadores de gestión del riego (Bos, 2000) relacionados con balances de agua, con aspectos económicos, ambientales, sociales o de mantenimiento del sistema. Con estos índices de gestión del riego se puede evaluar la evolución de una zona regable a lo largo del tiempo (Sarma y Rao, 1997; Dechimi et al., 1999; Droogers y Kite, 1999; Droogers et al., 2000), optimizar recursos (Molden y Gates, 1990) y encontrar una solución de compromiso entre la equidad y la eficiencia del agua de una zona regable (Kalu et al., 1995). La principal utilidad de estos indicadores es la comparación de diversas zonas regables, lo cual va a permitir detectar las mejores prácticas existentes en el regadío y tratar de adaptarlas a las zonas más desfavorecidas con el objetivo de mejorar las mismas. Estas técnicas, basadas en la búsqueda de la mejora mediante comparaciones, son las denominadas “técnicas de benchmarking”.

Lorite et al. (2004) han aplicado los indicadores de gestión del riego para estudiar la eficiencia de la zona regable del Genil-Cabra (Córdoba, España), donde los valores de RIS oscilaron entre 0,45 a 0,65, indicando que los cultivos se riegan deficitariamente. Para mejorar el manejo del riego o aportes adicionales de riego se propone combinar varios indicadores. Así, la combinación de un indicador de gestión del riego (RIS) y un indicador de eficiencia en la producción (IWP=incremento de producción debido al riego/volumen de riego) indica que sí en este área se dispone de más agua para riego, los cultivos de ajo y olivo serían los cultivos que tendrían un mayor beneficio con un aporte adicional de agua (Lorite et al., 2004).

Los indicadores de gestión también son una herramienta valiosa para el análisis de las comunidades de regantes. Rodríguez et al. (2004) ha caracterizado mediante indicadores de gestión varias comunidades de regantes en Andalucía representativas de gran parte de la heterogeneidad existente en el regadío andaluz, con diferencias en cultivos e infraestructuras hidráulicas. Los resultados indican que las comunidades con redes a presión hacen un mejor manejo del riego que en las zonas con distribución mediante canales, donde se usa aproximadamente el doble del agua necesaria.

4. Mejora en la eficiencia

Todas las estadísticas a nivel mundial demuestran el importante papel de la agricultura de regadío, pero también está demostrado que es necesario mejorar la eficiencia del regadío (Howell, 2001). Existen varios mecanismos para aumentar la eficiencia, que básicamente podemos agrupar en:

1. técnicas o medidas que permitan incrementar la productividad de los cultivos, tanto en términos de rendimiento como económicos.

En este caso, habría que considerar el papel de la mejora genética para obtener variedades con un índice de cosecha mayor, las prácticas o técnicas de cultivo más adecuada (fertilización, control de plagas y enfermedades, densidades de plantación, etc.).

La elección de la rotación de cultivo también es importante para maximizar los beneficios a nivel de parcela. En general, los cultivos hortícolas tienen un alto porcentaje en las rotaciones, reemplazando a los cultivos extensivos, los cuales tienen una alta dependencia de las ayudas de la PAC. El olivo y la vid también son cultivos interesantes para su inclusión en las rotaciones. Existen herramientas para la ayuda en la toma de decisiones, que nos indican la rotación y estrategia de riego mejores para obtener los máximos beneficios en función de algunas restricciones, por ejemplo las restricciones impuestas por la PAC, medioambientales, disponibilidad de agua, etc. El SAR de Castilla-La Mancha incorpora una herramienta para la ayuda a la toma de decisiones (MOPECO), así por ejemplo en un año climático medio, cuando la disponibilidad de agua es reducida la estrategia óptima sería que los cultivos de secano alcanzasen el 10-20% de la superficie, mientras que los cultivos con un alto margen se rieguen óptimamente (Ortega et al., 2005).

2. mejorar la gestión del riego

Las necesidades de riego pueden reducirse:

- reduciendo la evaporación del suelo (uso de acolchados, adopción de sistemas de riego localizado o mayores densidades de plantación)
- reduciendo las pérdidas de drenaje, siempre que se compatibilice con el manejo de la salinidad.
- disminuyendo la escorrentía con el uso de restos de cultivo, evitando la compactación del suelo.

Para una adecuada gestión del riego es muy importante disponer de información sobre las necesidades hídricas de los cultivos y la utilización de sistemas de riego con una alta eficiencia. Así por ejemplo, en USA el gasto de agua

por hectárea se ha reducido de 650 mm en los años 70 hasta los 500 mm en la actualidad. Esto ha sido posible por una mejora en el manejo del riego y a la mejora en los sistemas de riego (Howell, 2001). En este período se ha producido un importante cambio en los sistemas de riego, reduciéndose en un 20% el riego por superficie mientras que los sistemas de riego por goteo y aspersión han incrementado ampliamente su superficie.

También es importante que el sistema de riego tenga una alta uniformidad (expresado por el coeficiente de uniformidad). En la mayoría de los casos, la falta de uniformidad se debe a problemas relacionados con el diseño, como falta de presión o diferencias de presión entre subunidades de riego, o a la calidad del material empleado.

Los servicios de asesoramiento al regante (SAR) pueden jugar un papel importante para ayudar a los agricultores a conseguir un uso eficiente y racional de los medios de producción, y especialmente el agua, los fertilizantes y la energía, suministrándoles un adecuado apoyo científico y técnico para optimizar su uso, haciendo que la agricultura sea una actividad sostenible y compatible con el medio ambiente (Smith y Muñoz, 2002). El desarrollo de los SAR ha sido mayor en zonas áridas, con limitaciones en la cantidad y calidad del agua o cuando el precio del agua es alto (Smith y Muñoz, 2002). Uno de los SAR mejor conocido y pionero es el CIMIS (California Irrigation Management Information System). En general, un SAR presta servicios en:

- programación del riego y el manejo de los cultivos
- optimización del diseño y funcionamiento de los sistemas de riego.
- Planificación de los cultivos con limitaciones en la disponibilidad de agua y de otros medios de producción, mediante la utilización de modelos de ayuda a la toma de decisiones.
 - Control de la calidad del agua.
 - Potenciación del uso de sistemas informáticos y de las nuevas tecnologías aplicados a la gestión del agua.

5. Referencias bibliográficas

- Bos, M.G. 2000. Guidelines on Performance Assessment. Working group on performance indicators and benchmarking. FAO. Roma. Italia.
- Dechimi, F.; Playán, E. y Faci, J.M. 1999. Estudio de los factores que determinan el uso del agua en el polígono de la loma de Quinto Ebro. XV Congreso Nacional de Riegos. 227-234.
- Droogers, P. y Kite, G. 1999. Water productivity from integrated basin modeling. Irrigation and drainage systems. 13: 275-290.

- Droogers, P.; Kite, G. y Murray-Rust, H. 2000. Use of simulation models to evaluate irrigation performance including water productivity, risk and system analyses. *Irrigation science*. 19: 139-145.
- González, A.M. 2003. Programas de riego para cultivos hortícolas en invernaderos enarenados en Almería. Tesis doctoral. Universidad de Almería.
- Howell, T.A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy Journal*. 93: 281-289.
- Kalu, I.L.; Paudyal, G.N. y Gupta, A.D. 1995. Equity and efficiency issues on irrigation water distribution. *Agricultural water management*. 28: 335-348.
- López, J.C. 2003. Sistemas de calefacción en invernaderos cultivados de judía en el litoral mediterráneo. Universidad de Almería.
- López, J.C.; Lorenzo, P.; Medrano, E.; Sánchez-Guerrero, M.C.; Pérez, J.; Puerto H.M. y Arco, M. 2000. Calefacción de invernaderos en el Sudeste Español. Ed. Caja Rural de Almería. -54 pp.
- Lorite, I.J.; Mateos, L. y Fereres, E. 2004. Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment. Variability among crops and farmers. *Irrig.Sci*. 23, 85-92.
- Malano, H. y Burton, M. 2000. Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector. IPTRID Secretariat. IPTRID Secretariat. FAO. Roma. Italia.
- Molden, D.J. y Gates, T.K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 116(6): 804-823.
- Ortega, J.F.; de Juan, J.A. y Tarjuelo, J.M. 2005. Improving water management: the irrigation advisory service of Castilla-La Mancha (Spain). *Agricultural water management*. 77: 37-58.
- Rodríguez, J.Á.; Camacho, E. y López, R. 2001. El futuro del regadío en Andalucía. En: Informe anual del sector agrario en Andalucía. Ed. Analistas Económicos de Andalucía. Unicaja Fundación.
- Rodríguez, J.A.; Camacho, E.; López, R.; Pérez, L. y Roldán, J. 2004. Indicadores de gestión: una herramienta para el análisis de las comunidades de regantes. XXII Congreso Nacional de Riegos. 241-242.
- Sarma, P.B.S. y Rao, V.V. 1997. Evaluation of an irrigation water management scheme a case study. *Agricultural water management*. 32: 181-195.
- Sinclair, T.R.; Tanner, C.B. y Bennett, J.M. 1984. Water-use efficiency in crop production. *BioScience*. 34: 36-40.
- 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.
- Stanghellini, C.; Kempkes, F. y Knies, P. 2003. Enhancing environmental quality in agricultural systems. *Acta Horticulturae*. 609: 277-283.