

Productividad del agua en cultivos bajo invernadero en la costa mediterránea

M. Gallardo¹, M. D. Fernández², R. Thompson¹
y J. J. Magna².

¹Universidad de Almería.

²Estación Experimental de la Fundación Cajamar. Almería.

La productividad del agua, es decir, el cociente entre la producción y el volumen aplicado de agua de riego, expresado en términos 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 cómo el valor económico del agua de riego puede ser maximizado. La productividad del agua (PA) de los cultivos hortícolas es considerablemente más elevada que la de los cultivos al aire libre debido al clima dentro del invernadero, que reduce la demanda evaporativa, y a sus mayores rendimientos. En este artículo se analizan varios factores determinantes de la PA en cultivos hortícolas de invernadero.

Los sistemas de producción hortícola intensivos, como el de la costa mediterránea española, están enclavados en zonas de climas benignos que permiten la producción hortícola fuera de estación. Estos sistemas productivos son totalmente dependientes de la aplicación de riego para optimizar la producción. Debido a la baja precipitación anual, que en términos medios alcanza los 250 mm, en estas regiones los recursos hídricos son limitados, siendo el riego el principal usuario del agua.

Actualmente, existe en la costa mediterránea una fuerte competición por el uso del agua entre diversos sectores como la horticultura, el turismo y el creciente desarrollo urbanístico y una presión por minimizar las pérdidas de agua por drenaje que conllevan a la contaminación de acuíferos con nitratos y pesticidas. Asimismo, si nos referimos a aspectos económicos, la entrada en vigor de la Directiva Marco Comunitaria de Políticas del Agua obliga a los Estados miembros a cobrar a los agricultores el precio real del agua, lo que va a suponer en España un coste añadido al precio del agua.

En este escenario se hace imprescindible en esta zona optimizar la eficiencia con la que se emplean los recursos hídricos en agricultura, lo

cual ayudará a detectar posibles ineficiencias, así como las posibilidades de mejora. La disponibilidad de esta información será de máxima utilidad para decidir cuál es el uso más efectivo de los recursos hídricos limitados y elaborar planes de modernización de los regadíos.

Para evaluar la eficiencia con la que se usa el agua en un sistema agrícola, el indicador más empleado es el término productividad del agua (PA), que se puede definir como el cociente entre el rendimiento y el uso del agua por el cultivo o volumen de agua aplicado (kg m^{-3}) o se puede expresar en términos económicos (PAE, € m^{-3}). Este término se ha denominado tradicionalmente como eficiencia en el uso del agua. En este artículo la productividad del agua se presenta como el cociente entre rendimiento de fruta comercial y el volumen de agua aplicada (PA, kg m^{-3}) y en términos económicos (PAE, € m^{-3}).

Un primer aspecto a considerar cuando se habla de productividad del agua es el sistema de riego utilizado. Los sistemas de riego localizado o por goteo requieren menos agua que los sistemas de riego por



aspersión o por superficie, ya que al humedecer sólo una parte del suelo, se reduce la evaporación de agua desde el mismo, y también es más fácil controlar las pérdidas por drenaje al realizar riegos más frecuentes y de menor volumen. En Almería, el 99,7% de la superficie invernada (Pérez y Céspedes, 2001) emplea actualmente sistema de riego por goteo, siendo en general sistemas de riego de alta uniformidad.

El segundo aspecto que afecta a la productividad del agua es el cultivo y las condiciones climáticas en las que se desarrolla. La productividad del agua de los cultivos hortícolas es considerablemente más elevada que la de los cultivos de aire libre, fundamentalmente debido a las condiciones climáticas dentro del invernadero que reducen la demanda evaporativa y a sus mayores rendimientos.

Desde el punto de vista de demanda hídrica, el invernadero supone reducciones considerables en la radiación solar y en la velocidad del viento que se anula dentro del invernadero, y ligeros aumentos en la humedad relativa en relación al exterior, lo cual va a provocar menores necesidades de riego. Podemos señalar que las necesidades hídricas de un cultivo al aire libre se pueden reducir dentro de un invernadero de plástico hasta en un 50%. Además, los ciclos de cultivo más habituales tienen lugar en el período otoño-invierno, los meses de menor demanda evaporativa.

Resultados de los ensayos

Productividad de agua al aire libre y en invernadero

En el **cuadro I** se presenta una comparación de la PA de un cultivo de tomate al aire libre y bajo invernadero en distintas zonas de cultivo. La PA del cultivo de tomate al aire libre es considerablemente inferior (la mitad) a la correspondiente al invernadero debido al efecto ya comentado del clima que reduce la evapotranspiración del cultivo y a los mayores rendimientos, resultado de la intensificación del cultivo, y ciclos de cultivo más largos. Para el cultivo de tomate al aire libre las diferencias en PA del tomate entre Israel y Francia y las dos zonas de España,

Extremadura y Navarra, podrían ser debidas a que en estas zonas españolas el tomate es de industria, que tiene menores rendimientos (**cuadro I**). En relación a la PA del tomate en invernadero, podemos observar en el **cuadro I** que hay diferencias en PA entre condiciones de cultivo; por ejemplo, en el caso de Almería en suelo, la mejora de las estructuras del invernadero supone mejoras en las condiciones climáticas y de manejo y aumentos productivos que se traducen en la mayor PA del tomate en invernadero mejorado en relación al invernadero artesanal.

Influencia del ciclo de cultivo en la productividad del agua

Debido al elevado efecto del clima sobre la demanda hídrica, cuando analizamos la PA, es fundamental tener en consideración la duración del ciclo de cultivo y el período del año en que se cultiva. En el **cuadro II** se presentan valores de PA para el cultivo de tomate en suelo en Almería en distintos ciclos de cultivo. La PA fue superior en el ciclo más largo (agosto-mayo) ya que fue el más productivo y la mayor parte del ciclo transcurrió en meses de baja demanda evaporativa. Este ciclo de cultivo tuvo una PA un 33% superior a la del ciclo de otoño-invierno más corto (agosto-ene-



Cuadro I.

Comparación de la productividad del agua (PA, kg m⁻³) de un cultivo de tomate en distintas zonas, al aire libre y dentro de invernadero.

| Condiciones de cultivo | Área/sistema de cultivo | PA (kg m ⁻³) |
|------------------------|---|--------------------------|
| Aire libre | Israel (suelo) | 17 |
| | Francia (suelo) | 14 |
| | Extremadura | 7,4 |
| | Rioja | 8,5 |
| Invernadero | Israel (suelo) | 33 |
| | Francia (suelo) | 24 |
| | Almería (suelo)-invernadero tradicional | 25 |
| | Almería (suelo)- invernadero mejorado | 37 |

Fuente: Datos recopilados por Pardossi *et al.*, 2004 (Cronica Hort. 44:28-34), y elaboración propia.

Cuadro II.

Efecto del ciclo de cultivo en la productividad del agua en un cultivo de tomate bajo invernadero en suelo en Almería.

| Ciclo de cultivo | PA (kg m ⁻³) |
|------------------|--------------------------|
| Agosto-mayo | 37,5 |
| Agosto-enero | 25 |
| Enero-junio | 16 |

Fuente: Fernández *et al.*, 2007 (Agr. Water Manag 89:251-260), Caja Rural de Almería, 1997.

Cuadro III.

Efecto del medio de cultivo y manejo sobre la productividad del agua (PA, kg m⁻³) de un cultivo de tomate en invernadero.

| | Medio de cultivo | Sistema | Ciclo | PA (kg m ⁻³) |
|----------------------|------------------|---------------|------------------------|--------------------------|
| Ensayo sustratos | Lana de roca | Abierto | Largo ¹ | 35,2 |
| | Perlita | Abierto | Largo ¹ | 28,2 |
| | Enarenado | Abierto | Largo ¹ | 39,6 |
| Ensayo recirculación | Sustrato | Abierto | Primavera ² | 26,7 |
| | Sustrato | Recirculación | Primavera ² | 34,1 |

¹ciclo agosto-mayo ²ciclo febrero-julio.

Fuente: J. J Magán, comunicación personal.

ro) debido a la mayor productividad del ciclo largo. La PA del ciclo de primavera fue la más baja debido a las condiciones climáticas que favorecen una mayor demanda evaporativa (**cuadro II**).

Efecto del medio de cultivo en la productividad del agua

Hay otros factores que podrían afectar a la PA, como el medio de cultivo. En la Estación Experimental de la Fundación Cajamar se ha realizado un ensayo en el que se comparó la PA de un cultivo de tomate en tres medios de cultivo: lana de roca, perlita y suelo enarenado (**cuadro III**). Los resultados de este estudio indican que la PA fue ligeramente inferior en el cultivo de perlita, no existiendo diferencias entre lana de roca y suelo. La producción comercial fue superior en los cultivos en sustrato (16-17 kg m⁻²) en relación al enarenado (13,5 kg m⁻²); sin embargo, el agua aplicada fue 341 mm en el enarenado frente a valores de 540 mm en los sustratos. A partir de estos resultados, podemos afirmar que el cultivo en sustrato no mejora la PA en relación a un suelo enarenado a no ser que se realice una recirculación de la solución nutritiva. La recirculación supuso un aumento de un 22% en la PA respecto al sistema a solución perdida (**cuadro III**).



La recirculación supuso un aumento de un 22% en la PA respecto al sistema a solución perdida.

Productividad del agua en términos económicos y de rendimiento

Las técnicas de control climático al modificar la demanda evaporativa y la producción comercial también pueden afectar la PA. En Holanda, Stanghellini *et al.* (2003) dan valores de PA de tomate de 45 kg m⁻³ en un invernadero con calefacción y enriquecimiento carbónico, que superan considerablemente los valores presentados en el **cuadro I** para tomate en invernaderos sin climatizar. Sin embargo, cuando se comparó la PA de un cultivo de pimiento bajo distintos sistemas de refrigeración en Almería, se observó que el blanqueo de la cubierta redujo el consumo hídrico y aumentó la producción comercial resultando una PA un 17% y 25% mayor que los sistemas de ventilación forzada y nebulización, respectivamente (Gázquez *et al.*, 2007). Por ello, el blanqueo parece ser la técnica de refrigeración más apropiada para los invernaderos

del sureste español debido a la escasez de recursos hídricos.

ros del sureste español debido a la escasez de recursos hídricos.

En el **cuadro IV** se presentan valores de PA para distintas especies hortícolas características del poniente de Almería. La PA se refiere tanto a rendimiento (kg m⁻³) como a términos económicos (€ m⁻³) y corresponde a invernaderos comerciales de plástico en suelo y sin control climático. El tomate de ciclo largo fue el cultivo de mayor PA debido a su mayor longitud del ciclo. Dentro de los ciclos cortos de otoño-invierno, el cultivo que tuvo una mayor PA fue el pepino, correspondiendo la menor PA a la judía debido a sus menores rendimientos; sin embargo, la judía tuvo la mayor PA en términos económicos debido a su elevado precio de venta. Los valores más bajos de productividad del agua en términos económicos corresponden a

los cultivos de melón y sandía debido a los relativamente más bajos precios de mercado.

La PA del tomate de ciclo largo en invernaderos comerciales fue de 37,7 kg m⁻³ (**cuadro IV**), frente a valores de 41 kg m⁻³ obtenidos para un ciclo largo de tomate en un invernadero de investigación sin climatizar en la Estación Experimental de Cajamar cuando el riego se programó utilizando el programa PrHo, basado en aplicar las necesidades hídricas del cultivo (www.laspalmerillas.cajamar.es). Esta comparación nos indica que usando una adecuada programación del riego, sería posible aumentar la productividad del agua en los cultivos de Almería.

Cuadro IV.

Productividad del agua en términos de rendimiento (PA, kg m⁻³) y en términos económicos (PAE, € m⁻³) para distintas especies en explotaciones hortícolas del poniente de Almería.

| Ciclo | Cultivo | PA (kg m ⁻³) | PAE (€ m ⁻³) |
|-------------------------------|----------|--------------------------|--------------------------|
| Otoño-primavera (ciclo largo) | Tomate | 37,7 | 21,5 |
| | Pimiento | 21,0 | 13,1 |
| Otoño-invierno (ciclo corto) | Pepino | 33,2 | 12,4 |
| | Judía | 15,3 | 15,9 |
| | Tomate | 25 | 14,3 |
| Primavera (ciclo corto) | Melón | 22,8 | 10,1 |
| | Sandía | 35,6 | 7,8 |

Fuente: Fernández *et al.*, 2007 (Agr. Water Manag 89:251-260), Caja Rural de Almería, 1997.

Cuadro V.

Valores de productividad del agua en términos económicos (PAE €, m⁻³) de distintos sistemas de cultivo.

| Sistema de cultivo | € m ⁻³ |
|---------------------------|-------------------|
| Cultivos extensivos-maíz | 0,14 |
| Hortícolas aire libre | 1,6 |
| Fresa | 3,5 |
| Hortícolas de invernadero | 13,5 |

Fuente: Fereres *et al.*, 2003 (Hortscience, 35:1036-1042) y elaboración propia.

Productividad del agua en diferentes sistemas de cultivo

La PA expresada en términos económicos estuvo en el rango entre 8 a 21 € m⁻³ para los cultivos analizados, valores que son considerablemente más elevados que los de cultivos hortícolas al aire libre, que presentan valores promedio de 1,6 € m⁻³. En el **cuadro V** se presentan datos de PA en términos económicos para distintos sistemas de cultivo. La PA aumenta cuando pasamos de cultivos extensivos como el maíz (0,14 € m⁻³) a cultivos hortícolas de aire libre (1,6 € m⁻³) y de éstos a cultivos protegidos como la fresa (3,5 € m⁻³) o a los cultivos hortícolas de invernadero (13,5 € m⁻³). La combinación de altos precios de mercado (al ser productos fuera de estación), altas productividades y bajo consumo hídrico puede explicar los elevados valores de PAE en cultivos de invernadero en Almería. En países como EE.UU. ha habido en los últimos años un cambio en zonas regables con recursos hídricos limitados de cultivos extensivos a cultivos hortícolas.

El cultivo en sustrato no mejora la productividad del agua en relación a un suelo enarenado a no ser que se realice una recirculación de la solución nutritiva. Sin embargo, otros factores como la longitud del ciclo sí aumentan la productividad del agua, siendo ésta mayor en ciclos largos.

Conclusiones

La PA es un indicador agronómico importante en áreas con recursos hídricos limitados y permite a los gestores analizar cómo el valor económico del agua de riego puede ser maximizado. En situaciones como la costa de Almería, donde hay una fuerte competición por los recursos hídricos limitados, este tipo de análisis demuestra que el sistema de producción hortícola intensiva permite maximizar el valor económico del agua de riego. Como resumen de los ensa-



Las técnicas de control climático, al modificar la demanda evaporativa y la producción comercial, también pueden afectar la PA.

ayos realizados, se puede concluir que:

- La mejora de las estructuras del invernadero supone mejoras en las condiciones climáticas y de manejo y aumentos productivos que se traducen en la mayor PA del tomate en un invernadero mejorado en relación a un invernadero artesanal.
- Cuando una especie dada se cultiva en un ciclo largo, la PA va a ser considerablemente mayor que para un ciclo corto, teniendo los ciclos de primavera la PA más baja.
- El cultivo en sustrato no mejora la PA en relación a un suelo enarenado a no ser que se realice una recirculación de la solución nutritiva.
- Hay técnicas de control climático como el enriquecimiento carbónico que aumentan la PA y otras como la nebulización o ventilación forzada que la disminuyen.
- El cultivo de tomate en ciclo largo fue el de mayor PA y el de judía el de mayor productividad del agua en términos económicos. La PA expresada en términos económicos estuvo en el rango entre 8 a 21 € m³ para los cultivos analizados, valores que son considerablemente más elevados que los de cultivos hortícolas al aire libre que presentan valores promedios de 1,6 € m³. ■

Bibliografía

Gázquez J.C., Sáez M., López J.C., Fernández M.D., Pérez-Parra J., Baeza E. 2007. Eficiencia en el uso del agua de un cultivo de pimiento sometido a tres estrategias de refrigeración. XXV Congreso Nacional. de Riegos. Sinopsis de los trabajos: 81-82 y CD-Rom.

Stanghellini, Kempkes, F.L.K., Knies, P. 2003. Enhancing Quality in Agricultural Systems. Acta Horticulturae 609:277-283.

Tomate Infinity

Tolerante a cuchara y nemátodos



Hazera España

Pol. Ind. La Redonda
04700 EL EJIDO (Almería)

Tel.: 950 58 09 22 - Fax: 950 58 01 03
email: hazera@hazera.es - www.hazera.es