

## **Productividad del agua en cultivos bajo invernadero en la costa mediterránea**

### **Autores**

M. Gallardo<sup>1</sup>, M.D. Fernández<sup>2</sup>, R. Thompson<sup>1</sup>, J. J. Magán<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Almería

<sup>2</sup>Estación Experimental de la Fundación Cajamar, Almería

### **Resumen**

La productividad del agua, es decir el cociente entre la producción y el volumen de agua de riego aplicado expresada en térmicos productivos ( $\text{Kg m}^{-3}$ ) o económicos ( $\text{€m}^{-3}$ ) 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. La productividad del agua (PA) de los cultivos hortícolas es considerablemente mas elevada que la de los cultivos de 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. 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 mas 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  $\text{€ m}^{-3}$  para los cultivos analizados, valores que son considerablemente mas elevados que los de cultivos hortícolas al aire libre que presentan valores promedios de 1.6  $\text{€m}^{-3}$ .

### **Sumarios**

La productividad del agua (producción/volumen de riego) de los cultivos hortícolas bajo invernadero es considerablemente mas elevada (puede llegar a ser el doble) que la de los cultivos de aire libre fundamentalmente debido a i) las condiciones climáticas dentro del invernadero que reducen la demanda evaporativa y a ii) su mayores rendimientos.

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 si aumentan la productividad del agua siendo ésta mayor en ciclos largos.

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 productividad del agua en térmicos económicos en cultivos de invernadero en Almería que alcanzan valores promedio de 13.5  $\text{€m}^{-3}$  frente a valores de 1.6  $\text{€m}^{-3}$  de los cultivos hortícolas de aire libre.

### **Artículo (texto)**

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 (i) una fuerte competición por el uso del agua entre diversos sectores como la horticultura, el turismo y el creciente desarrollo urbanístico y ii) una presión por minimizar las pérdidas de agua por drenaje que conllevan a la contaminación de acuíferos con nitratos y pesticidas. Así mismo, 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 cual 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 ( $\text{kg m}^{-3}$ ) o se puede expresar en términos económicos (PAE) ( $\text{€m}^{-3}$ ). 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 volumen de agua aplicada (PA,  $\text{kg m}^{-3}$ ) y en términos económicos (PAE  $\text{€m}^{-3}$ ).

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 solo una parte del suelo se reduce la evaporación de agua desde el suelo, 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 mas elevada que la de los cultivos de aire libre fundamentalmente debido a i) las condiciones climáticas dentro del invernadero que reducen la demanda evaporativa y ii) su mayores rendimientos.

Desde el punto de vista de demanda hídrica, el invernadero supone reducciones considerables en la radiación solar, 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 mas habituales tiene lugar en el periodo otoño-invierno que son los meses de menor demanda evaporativa.

En la tabla 1 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 mas 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 (Tabla 1). En relación a la PA del tomate en invernadero podemos observar en la Tabla 1 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.

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 periodo del año en que se cultiva. En la tabla 2 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 mas largo (agosto-mayo) ya que fue el mas 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 mas corto (agosto-enero) debido a la mayor productividad del ciclo largo. La PA del ciclo de primavera fue la mas baja debido a las condiciones climáticas que favorecen una mayor demanda evaporativa (Figura 1 y Tabla 2).

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 (Tabla 3). 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 ( $16-17 \text{ kg m}^{-2}$ ) en relación al enarenado ( $13.5 \text{ kg m}^{-2}$ ); 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 (Tabla 3).

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  $45 \text{ kg m}^{-2}$  en un invernadero con calefacción y enriquecimiento carbónico que superan considerablemente los valores presentados en la tabla 1 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 en 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 mas apropiada para los invernaderos del sureste español debido a la escasez de recursos hídricos.

En la Tabla 4 se presentan valores de PA para distintas especies hortícolas características del poniente de Almería. La PA se refiere tanto a rendimiento ( $\text{kg m}^{-3}$ ) como en términos económicos ( $\text{€m}^{-3}$ ) 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 mas bajos de productividad del agua en términos económicos corresponden a los cultivos de melón y sandía debido a los relativamente mas bajos precios de mercado.

La PA del tomate de ciclo largo en invernaderos comerciales fue de  $37.7 \text{ kg m}^{-3}$  (Tabla 4) frente a valores de  $41 \text{ kg m}^{-3}$  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 de riego PrHo basado en aplicar la necesidades hídricas del cultivo ([www.laspalmerillas.cajamar.es](http://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.

La PA expresada en términos económicos estuvo en el rango entre 8 a  $21 \text{ €m}^{-3}$  para los cultivos analizados, valores que son considerablemente mas elevados que los de cultivos hortícolas al aire libre que presentan valores promedio de  $1.6 \text{ €m}^{-3}$ . En la Tabla 5 se presentan datos de PA en términos económicos para distintos sistemas de cultivo. La PA aumenta cuando pasamos de cultivos extensivos como el maíz ( $0.14 \text{ € m}^{-3}$ ) a cultivos hortícolas de aire libre ( $1.6 \text{ €m}^{-3}$ ) y de éstos a cultivos protegidos como la fresa ( $3.5 \text{ €m}^{-3}$ ) o a los cultivos hortícolas de invernadero ( $13.5 \text{ €m}^{-3}$ ). 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 PAE en cultivos de invernadero en Almería. En países como EEUU ha habido en los últimos años un cambio en zonas regables con recursos hídricos limitados de cultivos extensivos a cultivos hortícolas.

La PA 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. 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.

## **Bibliografía citada**

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.

Tabla 1. Comparación de la productividad del agua (PA, kg m<sup>-3</sup>) 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 <sup>-3</sup> )
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

Tabla 2. 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 <sup>-3</sup> )
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.

Tabla 3. Efecto del medio de cultivo y manejo sobre la productividad del agua (PA, kg m<sup>-3</sup>) de un cultivo de tomate en invernadero

	Medio de cultivo	Sistema	Ciclo	PA (kg m <sup>-3</sup> )
Ensayo sustratos	Lana de roca	Abierto	Largo <sup>1</sup>	35.2
	Perlita	Abierto	Largo <sup>1</sup>	28.2
	Enarenado	Abierto	Largo <sup>1</sup>	39.6
Ensayo recirculación	sustrato	Abierto	Primavera <sup>2</sup>	26.7
	Sustrato	recirculación	Primavera <sup>2</sup>	34.1

<sup>1</sup>- ciclo agosto-mayo

<sup>2</sup>- ciclo febrero-julio

Fuente: J. J Magán, comunicación personal

Tabla 4. Productividad del agua en términos de rendimiento (PA, kg m<sup>-3</sup>) y en términos económicos (PAE €m<sup>-3</sup>) para distintas especies en explotaciones hortícolas del Poniente de Almería.

Ciclo	Cultivo	PA (kg m <sup>-3</sup> )	PAE(€m <sup>-3</sup> )
Otoño-primavera (ciclo largo)	Tomate	37.7	21.5
Otoño-invierno (ciclo corto)	Pimiento	21.0	13.1
	Pepino	33.2	12.4
	Judía	15.3	15.9
	Tomate	25	14.3
Primavera (ciclo corto)	Melón	22.8	10.1
	Sandia	35.6	7.8

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

Tabla 5. Valores de productividad del agua en términos económicos (PAE €m<sup>-3</sup>) 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