

NECESIDADES DE AGUA DEL CULTIVO DE TOMATE EN INVERNADERO. COMPARACIÓN CON EL CULTIVO AL AIRE LIBRE

A. ANTÓN, J.I. MONTERO y P. MUÑOZ

IRTA (Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària). Centre de Cabriels.
08348 Cabriels (Barcelona). assumpcio.anton@irta.es

RESUMEN

Una buena gestión del agua empieza por la determinación más correcta posible de las necesidades de agua del cultivo. A partir de la adaptación de la ecuación de Penman-Monteith se ha determinado una ecuación simplificada para el cálculo de la transpiración con el fin de ser utilizada en el cálculo de las necesidades de riego de un cultivo de tomates bajo invernadero. Para su comparación con un cultivo de tomate al aire libre se ha calculado E_t a partir de E_0 de la estación meteorológica y de los coeficientes de cultivo, K_c . Los valores de la E_c acumulada en invernadero son un 85 % respecto al exterior, resultando un uso más eficiente del agua 68 % en el caso del invernadero. Esto es debido, principalmente, por un lado a la menor radiación que llega al invernadero y por otro al mayor rendimiento del cultivo.

Palabras clave: consumo agua, déficit de presión de vapor, evapotranspiración, radiación.

ABSTRACT

The improvement of the water use begins in a good calculation of water requirements. Evapotranspiration of a greenhouse tomato crop were calculated from a simplified approach of the Penman-Monteith equation. To compare to open field cultivation, crop evapotranspiration, E_t , has been estimated from evapotranspiration reference, E_0 , and crop coefficients, K_c . Results show that a greenhouse reduces evapotranspiration to about 85% of open field. The efficiency of water use per unit yield increases as 68% in greenhouse cultivation. Two factors are responsible for it: reduction of light and a higher yield in a greenhouse.

Key words: evapotranspiration, radiation, vapour pressure deficit, water use.

1. INTRODUCCIÓN

La producción en invernadero permite un cierto control del clima, mejorando las condiciones para el cultivo, lo que se traduce en una mejor adaptación del cultivo y en un aumento de su rendimiento.

Las condiciones climáticas del área Mediterráneas favorecen la gestión energética de los invernaderos debido a que se reducen las necesidades de calor, siendo minoría los invernaderos que disponen de calefacción. En esta área el problema más acuciante, desde un punto de vista ambiental, es el consumo de agua debido a la escasez y calidad de este recurso. Diversos trabajos STANGHELLINI (1992) han mostrado que la evapotranspiración en invernadero se reduce un 70 % respecto a la del aire libre, y la eficiencia en el uso del agua aumenta un 50 %.

Una buena gestión del agua empieza por la determinación más correcta posible de las necesidades de agua del cultivo. Este trabajo propone a partir de la adaptación de la ecuación de Penman-Monteith (MONTEITH y UNSWORTH, 1990) la utilización de una ecuación simplificada para el cálculo de la transpiración con el fin de ser utilizada en el cálculo de las necesidades de riego de un cultivo de tomates bajo invernadero.

También se presenta el cálculo de las necesidades de agua para un cultivo al aire libre de tomates.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Cálculo de la evapotranspiración

Existen varios métodos para el cálculo de la evapotranspiración, desde métodos de cálculo directo como la utilización de lisímetros o los balances de agua en el suelo a métodos indirectos, principalmente ecuaciones empíricas basadas en variables climáticas. De estas últimas las más sencillas son las basadas en la medida de la temperatura THORNTHWAITE (1948) y BLANEY y CRIDDLE (1950). Existen otras ecuaciones, igualmente empíricas, que se basan en la radiación, Priestly-Taylor, o la de Jensen-Haise que combina estas dos variables (VILLAR y ELÍAS, 1996). Más rigurosas resultan aquellas fórmulas basadas en la combinación del balance energético y el transporte convectivo del vapor de agua (PENMAN, 1948) adaptada por MONTEITH y UNSWORTH (1990) para estimar la evapotranspiración real de las plantas:

$$\lambda E = \frac{\Delta R_n (1 - e^{-kL}) + (\rho c_p / r_a)(e_{as} - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + r_c / r_a)} \quad (1)$$

donde λ es el calor latente de vaporización (J kg^{-1}), E es el flujo de evaporación ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$), Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación en función de la temperatura (kPa K^{-1}), R_n es la radiación neta (W m^{-2}), que deberá multiplicarse por la radiación interceptada por el cultivo ($1 - e^{-kL}$) por tratarse de un cultivo discontinuo, siendo k el coeficiente de extinción y L el índice de área foliar, ρ es la densidad del aire (kg m^{-3}), c_p es el calor específico del aire ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$) a presión constante, r_a es la resistencia externa o aerodinámica (s m^{-1}), e_{as} es la presión de vapor del aire saturado (kPa), e_a es la presión de vapor del aire (kPa), γ es la constante psicrométrica (kPa K^{-1}) y r_c la resistencia interna del dosel vegetal a la transmisión de vapor de agua (s m^{-1}).

La aplicación de esta ecuación requiere del conocimiento de diferentes parámetros como resistencia interna, resistencia aerodinámica, ... de ahí que diversos autores hayan presentado versiones simplificadas de esta ecuación para varios cultivos (BAILEY *et al.*, 1993; BAILLE *et al.*, 1994; LORENZO *et al.*, 1996; MARFÀ *et al.*, 1999; MONTERO *et al.*, 2001, ...).

2.2. Cultivo en invernadero

En un invernadero localizado en el IRTA, en Cabrils, Maresme, cubierto con material plástico tricapa, polietileno y etilvinilacetato, se ha realizado un cultivo de tomate, variedad *Bond*, plantado a una densidad de 2,2 plantas por metro cuadrado en sacos de perlita B-12. El ciclo de cultivo en

Tabla 1: Coeficientes de cultivo para tomate (DOORENBOS y PRUITT 1976).

estadio	plantación	floración	fructificación	cosecha
K_c	0.5	0.75	0.85	0.65

invernadero en esta área va de mediados de Enero a Julio. Se ha determinado el consumo de agua mediante balanza gravimétrica (300 kg \pm 0.2 g, Mettler, Switzerland) registrándose las variables climáticas para el cálculo de la evapotranspiración mediante una versión simplificada de la fórmula de Penman-Monteith.

2.3. Cultivo al aire libre

Se han determinado las necesidades de agua para un cultivo al aire libre, plantado a la misma densidad que el anterior directamente en el suelo, suelo franco arenoso. El ciclo de cultivo exterior va desde plantación de mediados de Mayo a finales de Octubre.

Para el cálculo de las necesidades de agua se ha utilizado la Evapotranspiración potencial (E_0) calculada a partir de las variables climáticas de la estación meteorológica de Cabrils. El cálculo de la evapotranspiración real (E_c) se ha realizado multiplicando dicho valor por los coeficientes de cultivo, K_c , (DOORENBOS y PRUITT, 1976) del tomate para diferentes estadios de desarrollo (tabla 1).

Tabla 2: Resumen datos climáticos del observatorio de Cabrils (Barcelona).

1981-2001	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Rad. Solar, MJ m ⁻² d ⁻¹	6.9	9.3	13.1	18.4	21.3	23.1	23.3	20.3	16.1	11.3	7.1	6.1
Temperatura, °C	9.1	9.4	11.4	12.9	16.7	20.1	23.2	23.6	20.7	17.1	12.6	10.8
Humedad, %	74	75	76	74	73	74	72	75	77	77	74	74
E_0 , l m ⁻²	25.4	39.7	59.8	85.6	113.0	123.1	132.2	114.4	81.8	50.4	26.4	22.4
Precipitación, l m ⁻²	45.9	36.8	41.7	42.7	48.5	48.3	26.9	37.4	75.6	77.7	60.9	40.1

3. RESULTADOS

La tabla 2 muestra las variables de radiación, temperatura, evapotranspiración y lluvia de enero a octubre de la estación meteorológica de Cabrils. A partir de los datos de la balanza se ha obtenido la fórmula simplificada:

$$E_c = 0,5(1 - e^{-0,64L} S_o) + 8,6 L V_{PD} \quad R^2 = 0,92 \quad (2)$$

siendo S_o la radiación solar que atraviesa el invernadero (W m⁻²), L , el índice de área foliar, y V_{PD} el déficit de presión de vapor (kPa.). La figura 1 muestra la evapotranspiración medida mediante la balanza lisimétrica y la calculada a partir de la ecuación 2 para un día determinado.

En la figura 2 se observan los valores de la E_c acumulada que para un cultivo de tomate al aire libre son de $392.4, \text{Lm}^{-2}$, mientras que en invernadero de 336.5Lm^{-2} .

Esta diferencia se debe a dos factores, el primero a que el ciclo de cultivo en invernadero se realiza en meses de menor radiación, y el segundo al hecho de que la estructura y el material de cubierta reducen la radiación que entra en invernadero en un 30 %.

Las necesidades de riego (figura 2) no mantienen la misma proporción debido a los diferentes substratos empleados, la perlita por sus características físicas requiere de riegos continuados mientras que en el suelo existe más capacidad de retención. Si se calcula la eficiencia en el uso del agua, dividiendo la producción por el consumo se obtienen unos valores de 34.3gr L^{-1} para cultivo de tomate en substrato bajo invernadero (producción 15kg m^{-2}) y de 20.4gr L^{-1} para el cultivo al aire libre (producción 8kg m^{-2}).

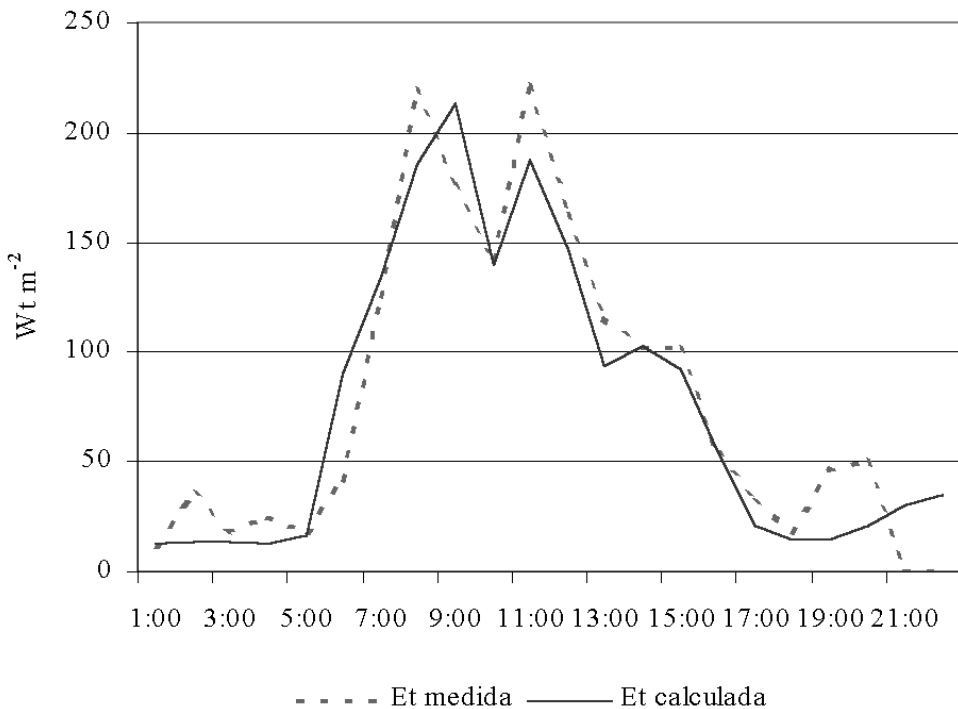


Figura 1: Comparación E_t medida y calculada para el día 15/08/01 en un cultivo de tomate bajo invernadero.

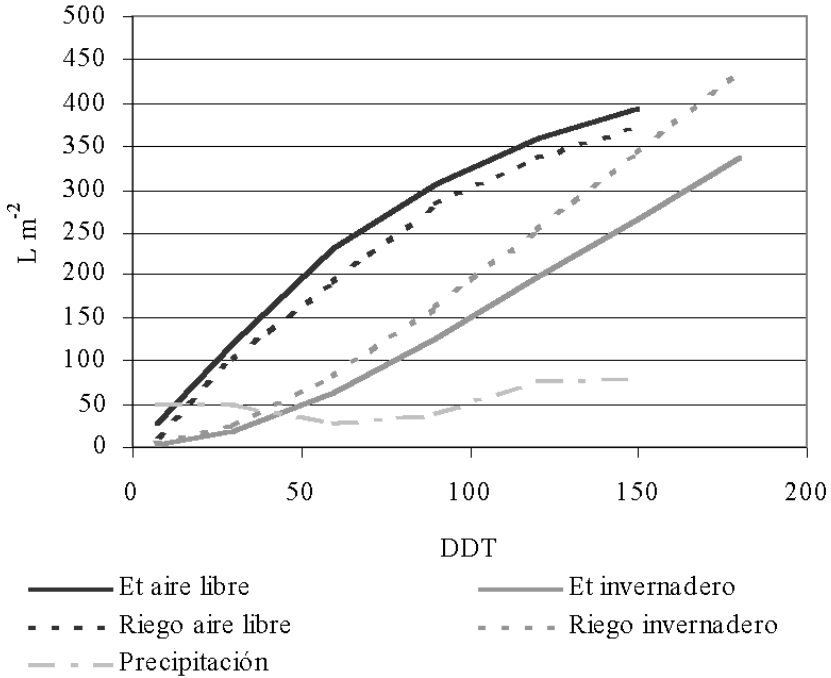


Figura 2: Evapotranspiración, Riego y Precipitación para un cultivo de tomate en invernadero y al aire libre.

4. CONCLUSIONES

Debido a que el agua es un recurso escaso en nuestra área, su gestión adquiere gran importancia, la utilización de fórmulas simplificadas basadas en la ecuación de Penman-Monteith permite un cálculo ajustado de las necesidades de agua de los cultivos.

Los cultivos en invernadero presentan una evapotranspiración comparativamente más baja que el cultivo al aire libre, resultando por tanto un uso del agua más eficiente en relación con la producción, por ser esta última más alta en invernadero.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación INIA n° SC00-080-C2.

6. BIBLIOGRAFÍA

- BAILEY, B., MONTERO, J., BIEL, C., WILKINSON, D., ANTÓN, A. y JOLLIET, O. (1993): Transpiration of *Ficus Benjamina*: comparison of measurements with predictions of the Penman-Monteith model and a simplified version. *Agricultural and Forest Meteorology*, 65, pp. 229-243.
- BAILLE, M., BAILLE, A. y DELMON, D. (1994): Microclimate and transpiration of greenhouse rose crops. *Agricultural and Forest Meteorology*, 71 (1-2), pp. 83-97.
- BLANEY, H. F. y CRIDDLE, W. D. (1950): *Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data*. USDA (SCS), TP-96, 48 pp.
- DOORENBOS, J. y PRUITT, W. O. (1976): Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO *Riego y drenaje*, Roma, 24, pp. 194.
- LORENZO, P., MEDRANO, E., SÁNCHEZ GUERRERO, M.C. y MUÑOZ CARPENA, R. (1996): Greenhouse crop transpiration: an implement to soilless irrigation management. En: MUÑOZ CARPENA, R. (Ed) *International symposium on water quality and quantity in greenhouse horticulture*, Tenerife, Canary Islands, Spain. ISHS. Acta Horticulturae, No. 458, pp. 113-119.
- MARFÀ, O., BIEL, C., BLANC, F. y MONTERO, J.I. (1999): Water consumption of a closed soilless culture of gerbera. Usefulness of a simplified model to estimate evapotranspiration. (Ed) Haifa, Israel. ISHS Acta Horticulturae 534. pp. 147-153.
- MONTEITH, J.L. y UNSWORTH, M.H. (1990): *Principles of Environmental Physics*. 2nd Edition. Edward Arnold. London, 291 pp.
- MONTERO, J.I., ANTÓN, A., MUÑOZ, P. y LORENZO, P. (2001): Transpiration from geranium grown under high temperatures and low humidities in greenhouses. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107 pp. 323-332.
- PENMAN, H.L. (1948): *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Royal Society London Proceedings, A, 193 pp. 120-146.
- STANGHELLINI, C. (1992): Evapotranspiration in greenhouses with special reference to Mediterranean conditions. En: LÓPEZ-GÁLVEZ, J. (Ed) *International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops*, Almería, Spain. ISHS. Acta Horticulturae N° 335 pp. 295-304.
- THORNTHWAITTE, C.W. (1948): An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, pp. 55-94.
- VILLAR, J.M. y ELÍAS, F. (1996): Evapotranspiración. En: ELÍAS, F. y CASTELLVÍ, F. (Eds), *Agrometeorología*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, y Ed. Mundiprensa. pp. 259-278.