

**EFFECTO DE DIFERENTES ALTURAS DE AGUA SOBRE EL CULTIVO  
DEL TOMATE (*Lycopersicum esculentum* Mill.). 1. RELACION  
EVAPOTRANSPIRACION—RENDIMIENTO<sup>1</sup>**

**Effect of different water regimes on tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.).  
I. Relation evapotranspiration—yield**

Raúl Ferreyra E.<sup>2</sup>

**SUMMARY**

Field experiments were carried out at the La Platina Experimental Station (INIA, Santiago), during 1982/83 and 1983/84.

Eleven water regimes were tried, using a simple line sprinkler system, proposed by Hanks *et al* (1976). Crop evapotranspiration (ET) was determined using the soil water balance method; soil moisture was measured with a neutron probe.

A linear relation between yield and total extracted water was found. Total ET amounted to 5,200 m<sup>3</sup>/ha. The relative reduction in yield in relation to the relative change in ET was as follows:

$$1 - Y / Y_m = K_y (1 - ET / ET_m)$$

Where  $K_y$  was 1.14 and 1.23 for each year, with a mean of 1.18;  $Y$  = yield obtained;  $Y_m$  = maximum yield; and  $ET_m$  = maximum evapotranspiration.

**INTRODUCCION**

Las relaciones encontradas entre cultivos, clima, agua y suelo son complejas, estando involucrados muchos procesos biológicos, físicos y químicos (Doorenbos y Kassan, 1979).

Stewart y Hagan (1973) citan a la relación agua—rendimiento como el nivel preciso de dependencia entre la respuesta cuantitativa del rendimiento a distintos niveles de ET (evapotranspiración), la cual depende del cultivo, especie, variedad y clima.

Conocer la relación agua—rendimiento es de gran importancia en períodos de sequía, así como para planificar el riego, a nivel predial o de área, y para predecir el rendimiento, en relación al agua utilizada por el cultivo.

Numerosos autores señalan relaciones lineales entre rendimiento y ET, para diferentes cultivos, al menos dentro de ciertos límites de uso—consumo. (Shalhevet y otros, 1979; Stewart y Hagan, 1973; Chang, 1974; Warrick y Gardner, 1983; Ferreyra, Sellés y Tosso, 1985). La pendiente de la relación lineal varía con cada especie, siendo afectada, además, por las condiciones climáticas (Stewart y Hagan, 1973). Sin embargo, el hecho que la función agua—rendimiento sea una línea recta, tiene gran importancia para la predicción del rendimiento, en relación al agua extraída (Warrick y Gardner, 1983).

Una forma general de expresar la relación rendimiento—evapotranspiración, es en términos relativos, relacionando la disminución relativa del rendimiento obtenido bajo una condición de ET real, respecto a un rendimiento máximo (Doorenbos y Kassan, 1979):

$$1 - Y / Y_m = K_y (1 - ET / ET_m)$$

<sup>1</sup> Recepción de originales: 9 de septiembre de 1986.

<sup>2</sup> Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

donde:

Y = rendimiento real cosechado

Y<sub>m</sub> = rendimiento máximo

K<sub>y</sub> = coeficiente que relaciona la disminución relativa del rendimiento y la disminución relativa de la ET.

ET = evapotranspiración real medida

ET<sub>m</sub> = evapotranspiración máxima

Si el coeficiente K<sub>y</sub> se comporta como constante para una especie determinada y si no existen limitantes para el desarrollo del cultivo, bastará conocer la magnitud de este coeficiente, con una predicción cuantitativa del rendimiento máximo y la ET máxima, para estimar los rendimientos posibles de obtener con un determinado abastecimiento de agua, para cualquier localidad con clima adecuado para el desarrollo de la especie en consideración (Stewart y Hagan, 1973).

Para extrapolar las necesidades de agua de un cultivo de una zona a otra, es necesario correlacionar los datos con algún indicador meteorológico. La evaporación obtenida desde una bandeja clase A (Eb), se relaciona en buena forma con la ET (Doorenbos y Pruitt, 1976). Sin embargo, la relación (ET/Eb) no es constante a lo largo de la estación de crecimiento y es diferente para los distintos cultivos (Doorenbos y Pruitt, 1976; Miller, McCollum y Claimon, 1979).

El presente artículo tiene por objeto presentar algunos resultados que permitan ir hacia una cuantificación de los coeficientes de cultivo y la relación agua—rendimiento, en el tomate.

## MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó durante las temporadas 1982/83 y 1983/84, en la Estación Experimental La Platina (INIA, Santiago, 33° 34' lat. S y 70° 38' long. W). El régimen hídrico corresponde al tipo Mediterráneo seco, que se caracteriza por un excedente de lluvia en la estación húmeda (110 mm) menor al 20% de la ET potencial (1.127 mm).

El suelo (franco arenoso grueso) corresponde a la serie Santiago, clasificado internacionalmente como "coarse loamy sandy, skeletal mixed, termic, typic xaroxchrepts" (USDA, 1975). Al iniciar el ensayo, tenía 2 ppm de N, 4 ppm de P, 89 ppm de K.

Se utilizó la variedad de tomate AC 55 VF, cuyo rendimiento comercial es del orden 50–70 ton/ha, dependiendo del clima y del suelo.

Para determinar la relación agua—rendimiento, se consideró 11 tratamientos de riego, que consistieron en aplicar cargas decrecientes de agua, a partir de 1,3 veces y hasta 0 Eb, con frecuencias semanales seleccionadas de manera que la percolación profunda fuera mínima. El balance hídrico se realizó según la ecuación:

$$AP = ET_r + ES - PP \pm W$$

donde:

AP = agua aplicada; ET<sub>r</sub> = evapotranspiración real; ES = escurrimiento superficial; PP = percolación profunda; y W = cambio en el contenido de humedad del suelo.

Los tratamientos se aplicaron según el método descrito por Hanks y otros (1976), el cual utiliza una línea de aspersión (Figura 1). Para realizar el balance hídrico, se midió el contenido de humedad del suelo, antes y después de cada riego, con un aspersor de neutrones. El agua fue aplicada con aspersores Rain Bird 30 H, con boquilla 11/64" x 3/32" — 7°, con una presión de 3,38 kg/cm<sup>2</sup> (Figura 2). La evaporación se midió en una bandeja Clase "A".

El método utilizado permite aplicar varios niveles de riego, minimizando la cantidad de terreno necesaria y permitiendo una variación continua del riego, desde exceso a déficit (1,3 Eb hasta 0 Eb; figuras 1 y 2).

Las parcelas experimentales tuvieron 3,75 x 1,5 m. Las plantas fueron transplantadas a 0,30 m sobre la hilera y a 1,5 m entre las hileras. La densidad obtenida fue de 22.222 plantas/ha. Una mitad de la fertilización nitrogenada (120 u. de N) fue aplicada a la siembra y la otra, cuando las plantas tenían 15 cm. El total de la fertilización fosfatada (90 u. de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) fue aplicado al momento de la siembra.

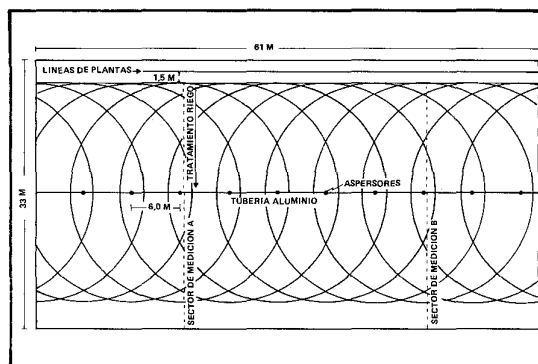


FIGURA 1. Diseño del experimento y tratamientos

FIGURE 1. Experimental design and treatments

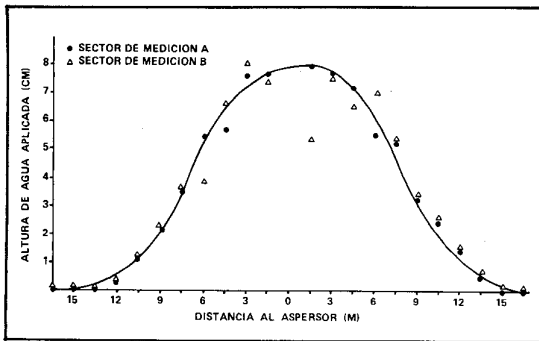


FIGURA 2. Distribución del agua aplicada por la línea de aspersores utilizada en el ensayo, a los 71 días después del trasplante.

FIGURE 2. Water distribution by the simple sprinkler line used in the trial, 71 days after transplanting.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Relación agua aplicada—rendimiento

En términos generales, los rendimientos aumentaron en forma lineal al agua aplicada (Figura 3). La temporada 1982/83 tuvo rendimientos inferiores a la 1983/84, probablemente debido a diferencias climáticas. En ninguno de los dos años, los rendimientos decayeron con aplicaciones altas de agua.

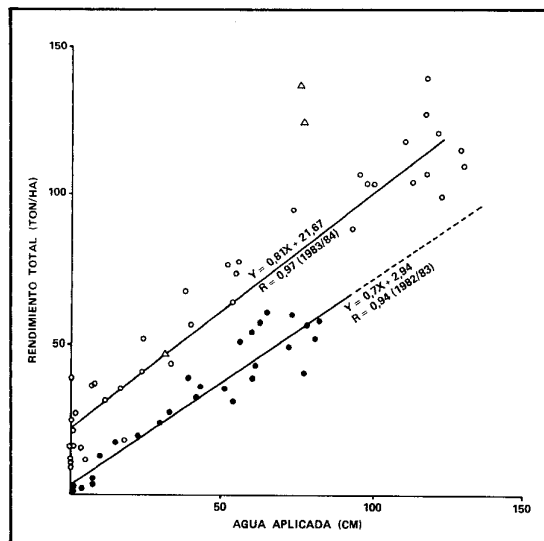


FIGURA 3. Rendimiento total (ton/ha), según altura de agua aplicada (cm), en tomate.

FIGURE 3. Tomato total yield (Ton/ha), in relation to water applied (cm).

### Relación evapotranspiración—rendimiento

Entre la extracción de agua medida (ET) y rendimiento comercial (ton/ha), en la temporada 1982/83 se obtuvo una relación lineal, en el rango estudiado (12–56 cm), con una pendiente de 1,28 y un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0,76 (Figura 4). Para la segunda temporada, la relación también fue lineal, con una pendiente de 1,54, con un rango de validez entre 7 y 51 cm y un rendimiento comercial similar a la temporada anterior (aproximadamente 66 ton/ha vs. 58 ton/ha). Las regresiones no fueron diferentes entre sí, según la prueba de Student al 1%.o.

Entre el rendimiento total (ton/ha) y la ET, en la temporada 1983/84, se obtuvo una relación lineal (Figura 5), en el rango estudiado (7–51 cm), con una pendiente 2,3 y un  $r^2 = 0,94$ . La extracción máxima para ambas temporadas, fue del orden de 5.200 m<sup>3</sup>/ha.

### Determinación del coeficiente de rendimiento (Ky)

El valor de este coeficiente fue similar para ambas temporadas (Prueba de Student al 1%.o); en 1982/83 se obtuvo un Ky de 1,14 y en 1983/84, este valor fue de 1,23 (Figura 6).

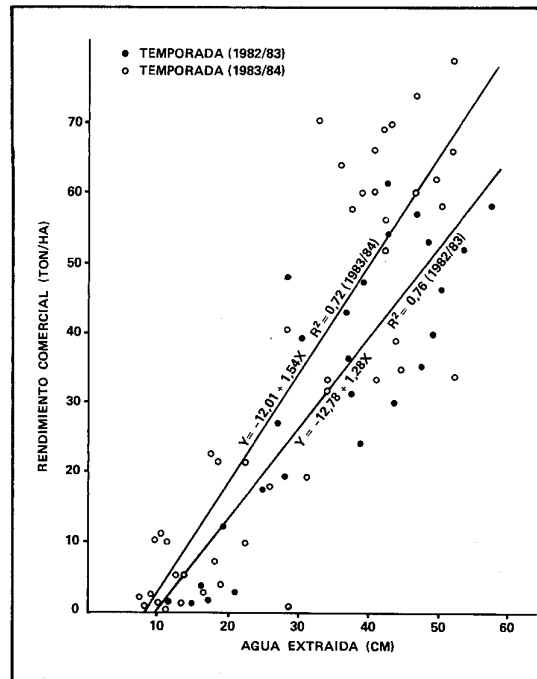


FIGURA 4. Relación agua extraída—rendimiento comercial del tomate, para dos temporadas.

FIGURE 4. Relation extracted water—commercial yield in tomatoes during two seasons.

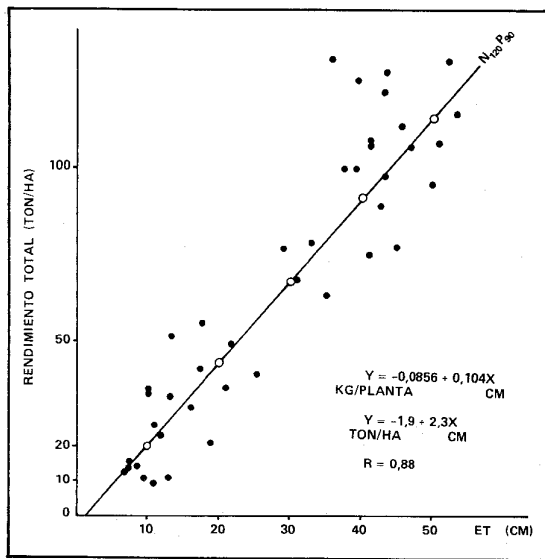


FIGURA 5. Relación agua extraída—rendimiento total en tomate, temporada 1983/84.

FIGURE 5. Relation extracted water—total yield in tomatoes. Season 1983/84.

El  $K_y$  promedio fue de 1,18; este valor es semejante al informado por Doorenbos y Kassan (1979), quienes señalan un  $K_y$  de 1,05 para tomate. Esto concoraría con lo señalado por Doorenbos y Pruitt (1976), en el sentido que la relación rendimiento relativo—evapotranspiración relativa es más o menos constante para cada vegetal.

Relación evapotranspiración/evaporación de bandeja clase A

A lo largo del período de desarrollo del cultivo, se determinó la relación entre  $ET/E_b$  y estado de desarrollo del cultivo (Figura 7). Los valores  $ET/E_b$  presentaron una alta variabilidad, que se podría deber a la variabilidad de la componente evaporación, sobre todo al utilizar frecuencias cortas (7 días; Doorenbos y Pruitt, 1976; Wright, 1982). Los valores más altos de  $K_c$  (relación  $ET/E_b$  para condiciones sin restricción de agua) se encontraron alrededor del 50–60% de la estación de crecimiento y disminuyeron hacia los extremos, siendo para el 10% de la estación de 0,35 y para el 90%, de 0,51  $ET/E_b$ .

Los valores promedio se ajustaron a un polinomio de segundo grado ( $r^2 = 0,92$ ). Los valores estimados concuerdan con los recopilados por Doorenbos y Kassan (1979) para tomate, quienes señalan valores de 0,3, para el 10% del período de crecimiento, y de 0,74, para el período de mayor desarrollo.

En la Figura 8 se puede observar el efecto del agua extraída en la relación  $ET/E_b$ , la cual es menor al aumentar el déficit hídrico.

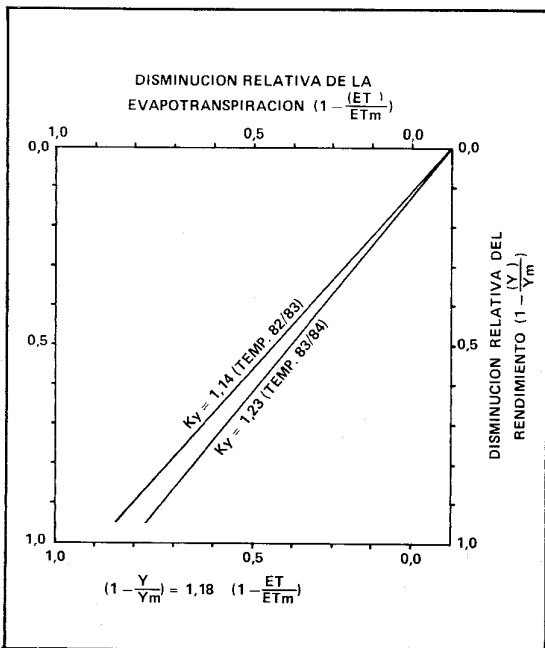


FIGURA 6. Disminución relativa de la evapotranspiración vs. disminución relativa de rendimiento en tomate.

FIGURE 6. Relation between the relative decrease in ET and the relative decrease in tomato yield.

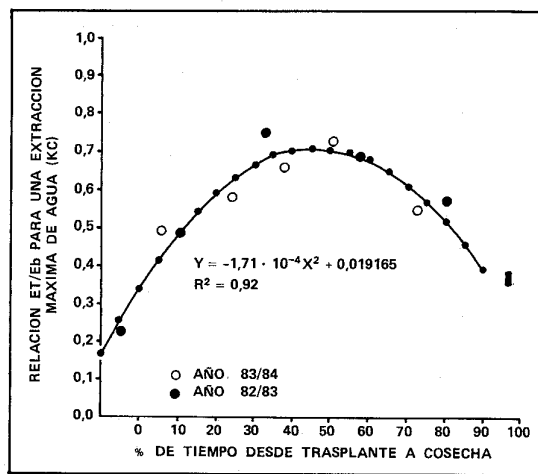


FIGURA 7. Relación  $ET/E_b$  para una extracción máxima de agua en tomate. Cada punto corresponde al promedio de 12 observaciones.

FIGURE 7. Relation  $ET/E_b$  for a maximum water extraction in tomatoes. Averages for 12 observations.

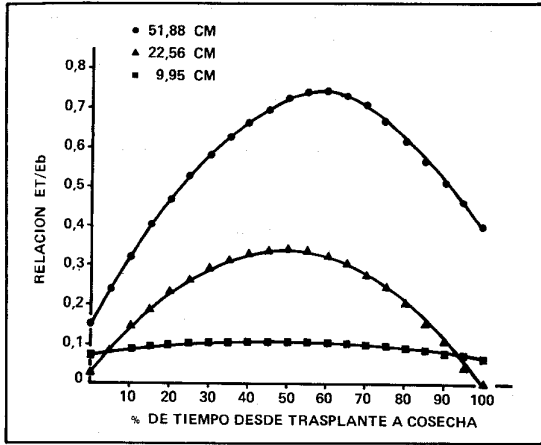


FIGURA 8. Relación (ET/Eb) para distintas extracciones de agua. Temporada 1983/84.

FIGURE 8. Relation ET/Eb for different water extractions. Season 1983/84.

Efecto de la cantidad de agua aplicada o extraída, en la calidad de los frutos

En la Figura 9 se puede observar claramente que al disminuir el agua, aumenta el porcentaje de frutos con pudrición apical (problema fisiológico), en forma lineal. Al aplicar agua sobre 70 cm, no se observa ningún fruto dañado.

En la Figura 10 se presenta la relación del agua extraída respecto al rendimiento total y comercial: para producir tomate de calidad I y II, es necesario aplicar por lo menos 9,64 cm de agua en la zona de raíces; en cambio, la producción de las calidades I, II y III es menos restrictiva, bastando 7,79 cm de agua.

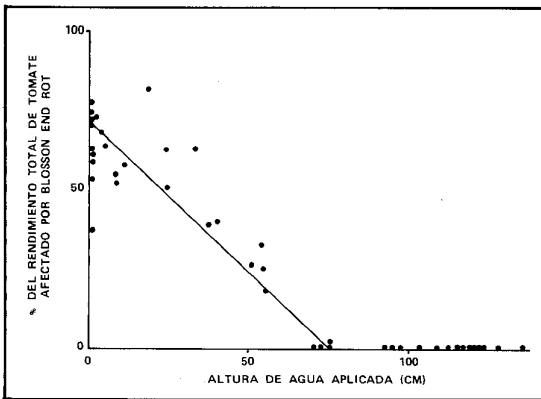


FIGURA 9. Efecto de la altura de agua aplicada en el porcentaje de tomates afectado por pudrición apical, temporada 1983/84.

FIGURE 9. Effect of the amount of water applied on the percentage of tomatoes affected by blossom end rot. Season 1983/84.

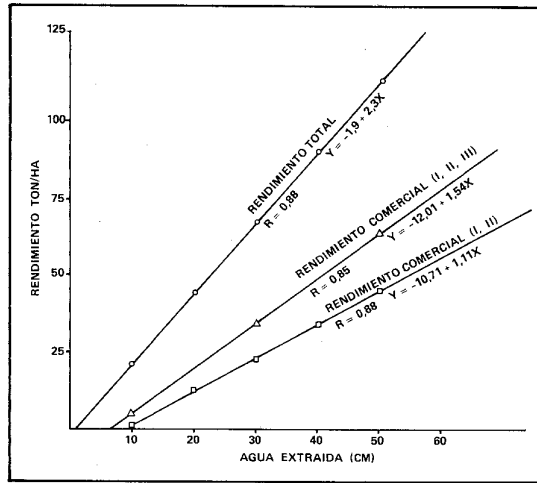


FIGURA 10. Altura de agua extraída, respecto al rendimiento total y comercial en tomate. Temporada 1983/84.

FIGURE 10. Amount of extracted water, in relation to total and commercial yield of tomatoes. Season 1983/84.

En la Figura 11 se presenta el rendimiento comercial a través del tiempo, en forma acumulativa para tres tratamientos de riego. Se puede observar, como era de esperar, una mayor precocidad en los tratamientos más secos y una mayor producción en los más húmedos.

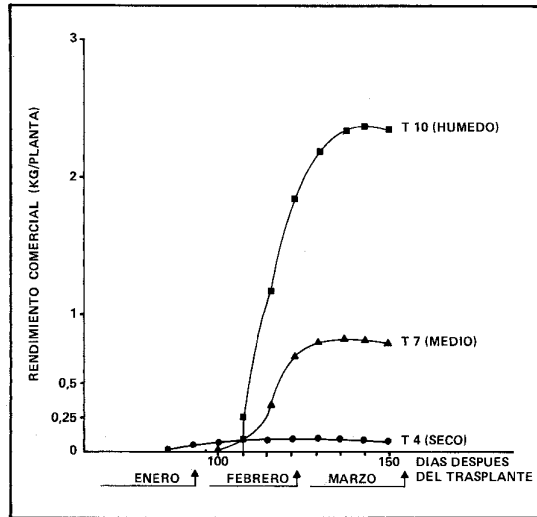


FIGURA 11. Rendimiento comercial (kg/planta) acumulativo a través del tiempo, para tres tratamientos de riego. Temporada 1983/84.

FIGURE 11. Cumulative commercial yield (kg/plant), through the 1983/84 season, with three irrigation treatments.

**CONCLUSIONES**

- La relación rendimiento—evapotranspiración fue lineal, en el tramo estudiado, entre 10 y 55 cm de ET.
- La relación entre la disminución relativa del rendimiento y el déficit relativo de evapotranspiración

[  $(1 - Y/Y_m) = K_y (1 - ET/ET_m)$  ] dio valores similares para cada año, siendo  $K_y$  en promedio de 1,18.

- Los coeficientes de cultivo señalan valores de 0,350/o para el 100/o del período de crecimiento y de 0,71, para el 50—600/o del período.

**RESUMEN**

Se realizó un ensayo de campo durante 1982/83 y otro en 1983/84, en la Estación Experimental La Platinia (INIA), Santiago. En ellos, se probaron 11 alturas de agua (0 Eb — 1,3 Eb), utilizando el método desarrollado por Hanks y otros (1976). La evapotranspiración del cultivo se determinó mediante balance hídrico, determinando la variación de humedad del suelo con aspersor de neutrones.

Se observó una relación lineal entre rendimiento y evapotranspiración, siendo la extracción máxima, pa-

ra ambas temporadas, del orden de 5.200 m<sup>3</sup>/ha. Se estableció la relación entre la disminución relativa del rendimiento y el déficit relativo de evapotranspiración:

$$1 - Y / Y_m = K_y (1 - ET / ET_m)$$

obteniéndose valores similares de  $K_y$ , para cada año (1,14 y 1,23) y para la información conjunta (1,18).

**LITERATURA CITADA**

- CHANG, J. 1974. Climate and Agriculture. Aldine Publishing, Chicago. 340 p.
- DOORENBOS, J. y PRUITT, W.O. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, Estudio FAO Riego y Drenaje 24. 194 p.
- DOORENBOS, J. and KASSAN, A.H. 1979. Yield response to water. Rome, FAO, Irrigation and Drainage Paper 35. 193 p.
- FERREYRA, R., SELLES, G. y TOSSO, J. 1985. Efecto de diferentes alturas de agua sobre el cultivo del pimiento. II. Relación agua—rendimiento. Agricultura Técnica (Chile) 45 (3): 235—239.
- HANKS, R.J.; DELLER, J.; RASMUSSEN, V.P.; and WILSON, G.O. 1976. Line source sprinkler for continuous variable irrigation crops, Production Studies Soil Sci. Am. Proc. 426—429.
- MILLER, CH.; McCOLLUM, R.E.; and CLAIMON, S. 1979. Relationships between growth of bell peppers (*Capsicum annum*) and nutrient accumulation during ontogeny in field environments. J. Amer. Soc. Hort. Science 104: 852—857.
- SHALHEVET, J.; MONTELL, A.; BIELORAI, H.; and SHIMSHI, D. 1979. Irrigation on field and orchards crops, under semi—arid conditions. IIIC, Bet—Daga, Israel. 124 p.
- STEWART, I.J. and HAGAN, R.M. 1973. Functions to predict effects of crop water deficits. J. Irrigation and Drainage Division (ASCE): 421—439.
- USDA—United States Department of Agriculture. 1975. Soil Taxonomy. Agriculture Handbook N° 436. 754 p.
- WARRICK, A.W. and GARDNER, W.R. 1983. Crop yield as affected by spatial variations of soil and irrigation. Water Research 19 (1): 181—186.
- WRIGHT, L.Y. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. American Society of Agricultural Engineers, V. 108 (IR 2): 57—74.