

EVALUACIÓN DE UN MODELO PARA ESTIMAR LA RADIACIÓN NETA SOBRE UN CULTIVO DE TOMATE INDUSTRIAL¹

Evaluation of a model for predicting net radiation over an industrial tomato crop¹

Samuel Ortega-Farías^{2*}, Rodrigo Calderón², Nelson Martelli² y Rodrigo Antonioletti³

ABSTRACT

A study was carried out in order to evaluate a model that estimates the net radiation (Rn) flux over a tomato crop (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Heinz 2150, under clear and cloudy conditions. For that purpose, an automatic meteorological station (EMA) was installed in the central part of the crop, located in the Panguilemo Experimental Station of the Faculty of Agronomy of the University of Talca (35°23' S lat, 71°40' W long, 110.5 m.o.s.l.). The EMA measured solar radiation, air temperature, relative humidity and vapor pressure at 20-min time intervals. Results indicated that the model was able to estimate the net radiation fluxes at 20-min time intervals with a standard error of estimate (DEE) of 34 W m⁻² and absolute error (Ea) less than 3.2%. On a daily basis, the model estimated the Rn with a DEE and an Ea of 0.6 MJ m⁻² d⁻¹ (0.24 mm d⁻¹) and 4.1%, respectively.

Key words: energy balance, water requirements, air emissivity, albedo, *Lycopersicon esculentum*.

RESUMEN

Se realizó un estudio para evaluar un modelo que estima el flujo de radiación neta (Rn) sobre un cultivo de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad Heinz 2150, bajo condiciones de día despejado y nublado. Para esto, una estación meteorológica automática (EMA) se instaló en la parte central del cultivo, localizado en la Estación Experimental de Panguilemo perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Talca (35°26' lat. Sur, 71°41' long. Oeste, 110,5 m.s.n.m.). La EMA fue usada para medir el flujo de radiación neta, flujo de radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa y presión de vapor en intervalos de 20 min. Los resultados indicaron que el modelo fue capaz de estimar el flujo de radiación neta en intervalos de 20 min, con una desviación estándar del error (DEE) igual a 34 W m⁻² y un error absoluto (Ea) menor a 3,2%. En términos diarios, el modelo estimó el flujo de Rn con una DEE y Ea iguales a 0,6 MJ m⁻² d⁻¹ (0,24 mm d⁻¹) y 4,1%, respectivamente.

Palabras clave: balance de energía, requerimientos hídricos, emisividad del aire, albedo, *Lycopersicon esculentum*.

¹ Recepción de originales: 05 de agosto de 2002.

Investigación financiada por FONDECYT N° 1970309 y ECOS-CONICYT N°C99U04

² Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, Casilla 747, Talca, Chile. E-mail: sortega@utalca.cl * Autor para correspondencia.

³ Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Unité de Bioclimatologie, Domaine St. Paul, 84914 Avignon Cedex 9, France.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los requerimientos hídricos de los cultivos o evapotranspiración real (ET_{real}) es cuantificada usando la evapotranspiración de un pasto en referencia (ET_r), la cual es corregida para cada período fenológico por un coeficiente de cultivo (K_c) (Jensen *et al.*, 1990; Allen *et al.*, 1998). Por otro lado, recientes investigaciones han indicado que el modelo de Penman-Monteith (PM) puede ser usado para estimar en forma directa el consumo de agua de los cultivos, sin necesidad de utilizar la ET_r y K_c (Kjelgaard *et al.*, 1994; Farahani y Bausch, 1995; Rana *et al.*, 1997). En Chile, Ortega-Farías *et al.* (2000b) implementaron una metodología basada en la ecuación de PM, para estimar directamente el consumo de agua de un cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) industrial usando estaciones meteorológicas automáticas (EMA) que miden variables climáticas (temperatura del aire (T_a), humedad relativa (HR), velocidad del viento (V), y radiación solar (R_s)) en intervalos de tiempo menores a 1 h. Sin embargo, para estimar directamente la ET_{real} , el modelo de PM requiere mediciones simultáneas del flujo del calor del suelo (G) y radiación neta (R_n), siendo esta última variable la fuerza motriz de los intercambios energéticos que ocurren sobre y dentro de la cubierta vegetal del cultivo.

El flujo de R_n o energía disponible es la fuerza principal que determina, en mayor medida, las pérdidas de agua de una cubierta vegetal cuando el agua en el suelo no es limitante. Por esta razón, el flujo de R_n es la principal variable de entrada en el modelo de PM y puede llegar a representar entre un 50 y 60% de la ET_r en climas húmedos y subhúmedos, respectivamente (Jensen *et al.*, 1990). Lamentablemente, la mayoría de las estaciones meteorológicas automáticas no incluyen sensores para medir el flujo de R_n , por lo que se hace necesario estimarlo a través de modelos físicos que utilizan como variable de entrada la R_s , T_a y HR (Ortega-Farías *et al.*, 2000a). En la actualidad, los modelos desarrollados para estimar la R_n se han concentrado en los cultivos llamados “de referencia” como festuca (*Festuca arundinacea*) y alfalfa (*Medicago sativa*) (Allen

et al., 1998), y por ello existe escasa información sobre modelos que permitan cuantificar la R_n sobre diferentes cubiertas vegetales.

El flujo de R_n representa el balance de energía de onda corta (0,15 a 3 μm) y onda larga (3 a 100 μm) que tiene disponible una cubierta vegetal para realizar los procesos de transferencia de agua desde el suelo a la atmósfera. Esta variable puede ser medida directamente usando un radiómetro neto, o bien realizando una estimación de su valor, a través de modelos que integran las variables que componen el balance de energía de onda larga y onda corta. En el caso de la radiación de onda corta, se ha encontrado que entre 20 y 25% de la radiación solar, que es la principal variable de entrada de los modelos de R_n , es reflejada a la atmósfera por la cubierta vegetal (Jensen *et al.*, 1990). Por otro lado, el balance de radiación de onda larga se cuantifica a través de la Ley de Stefan-Boltzmann y depende del gradiente de temperatura entre el aire y el cultivo (Monteith y Unsworth, 1990). Considerando lo anterior, el flujo de R_n de un cultivo puede cuantificarse del siguiente modo (Brutsaert, 1982):

$$R_n = (1 - \alpha) R_s + \epsilon_a \sigma T_a^4 - \epsilon_s \sigma T_s^4 \quad (1)$$

donde, R_n = flujo de radiación neta sobre una cubierta vegetal (W m^{-2}); α = albedo o fracción de radiación de onda corta reflejada; R_s = flujo de radiación solar (W m^{-2}); ϵ_a = emisividad del aire; σ = constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$); T_a = temperatura del aire (K); T_s = temperatura de la superficie o cubierta vegetal (K); ϵ_s = emisividad de la superficie o cubierta vegetal.

En la ecuación (1), T_s no está disponible en la mayoría de las estaciones meteorológicas automáticas, por lo que muchos autores han asumido que la T_a es igual a T_s para cubiertas vegetales que cubren completamente el suelo y no presentan déficit hídrico (Ortega-Farías *et al.*, 1998). En estas condiciones, el supuesto anterior no produce errores graves en la estimación final de R_n . Por otro lado, el valor de ϵ_s es casi constante y varía entre 0,95 y 0,99 (Monteith y Unsworth, 1990). Con respecto al valor de ϵ_a , Ortega-Farías

et al. (2000a) señalaron que la emisividad atmosférica es mucho más variable que ϵ_s , ya que este parámetro depende de los perfiles atmosféricos de humedad, temperatura, tipo de nube y grado de cobertura nubosa. Sin embargo, esta información generalmente no está disponible, por lo que muchos autores han propuesto relaciones empíricas que relacionan la ϵ_a con la humedad atmosférica y la temperatura del aire. De esta manera, el valor de ϵ_a se puede estimar como (Brutsaert, 1982):

$$\epsilon_a = \phi \left(\frac{e_w}{T_a} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (2)$$

donde, ϕ = coeficiente empírico; e_w = presión de vapor del aire (kPa).

Estudios realizados por Brutsaert (1982), Antonioletti *et al.* (1999) y Ortega-Fariás *et al.* (2000a) indicaron que el coeficiente ϕ es equivalente a 1,72 para un cultivo de festuca o alfalfa, creciendo en condiciones agronómicas óptimas y cubriendo completamente el suelo.

En base a lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue implementar, para estaciones meteorológicas automáticas, un modelo predictivo del flujo de radiación neta sobre un cultivo de tomates en condiciones atmosféricas de días despejados y nublados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar un modelo que simula el flujo de radiación neta (R_n) se midieron datos agrometeorológicos en una unidad agroclimática cultivada con tomate industrial (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad Heinz 2150, durante la temporadas 1998/99 y 2000/01. Esta unidad se localizó en la Estación Experimental de Panguilemo, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Talca (35°26' lat. Sur; 71°41' long. Oeste; 110,5 m.s.n.m.), ubicada 11 km al norte de la ciudad de Talca, VII Región.

La unidad agroclimática tenía una superficie de 0,8 ha con una densidad de plantación de 42.000 plantas ha⁻¹ (1,2 m entre hileras y 5 plantas por metro lineal). En ambas temporadas el trasplante se llevó a cabo en la última semana de octubre, y el cultivo se mantuvo en óptimas condiciones de manejo agronómico en cuanto a fertilización, control fitosanitario y riego hasta la cosecha (febrero). El sistema de riego utilizado fue por surco con una frecuencia de riego determinada por mediciones del contenido volumétrico de agua en el suelo a través de un reflectómetro (Time Domain Reflectometry (TDR), Trase System, Inc., California, USA). Estas mediciones se realizaron dos veces por semana durante todo el período de crecimiento del cultivo, hasta la profundidad efectiva de las raíces.

El suelo donde se ubicó el cultivo correspondía a la serie Talca (tipo Alfisol), que se caracteriza por tener una textura franca en los primeros 30 cm, y a partir de éstos posee una textura arcillosa hasta una profundidad superior a un 1 m, lo cual limita el desarrollo de las raíces. El clima de la localidad corresponde al tipo mediterráneo subhúmedo, con una pluviometría media de 735 mm año⁻¹ y un período estival seco de seis meses. La temperatura máxima promedio alcanza los 30,3°C y la temperatura mínima anual alcanza los 4,5°C.

Una estación meteorológica automática (Campbell Scientific, Logan, Utah, USA) fue instalada en la parte central del cultivo de tomate para medir simultáneamente la T_a , HR, R_s incidente y R_n en intervalos de 20 minutos. Además, mediciones de R_s reflejada fueron realizadas para estimar el valor de α entre los meses de diciembre y febrero. En este período, el índice de área foliar (IAF), obtenido con un medidor de área foliar (Li-Cor, Li 3100, Lincoln, Nebraska, USA), varió entre 1,5 y 2,7 m² m⁻² y el valor promedio de α fue equivalente a 0,21.

Para implementar el modelo de R_n , se utilizó un valor de ϵ_s equivalente 0,98, y debido a la falta de mediciones de temperatura de la cubierta vegetal se asumió que T_a era igual a T_s para el cultivo de tomate creciendo en condiciones óptimas de humedad de suelo (Valdés, 2002). Además,

realizando un análisis de optimización no lineal, se encontró que la constante ϕ (Ecuación 2) fue equivalente a 1,76. Sobre la base de los supuestos anteriores y combinando las ecuaciones 1 y 2, el flujo de Rn se puede estimar usando la siguiente expresión:

$$Rn = 0,79R_s + \sigma \left[1,76 \left(\frac{e_w}{T_a} \right)^{\frac{1}{7}} - 0,98 \right] T_a^4 \quad (3)$$

Finalmente, el flujo de Rn diaria puede estimarse integrando los valores de Rn en intervalos de 20 min, del siguiente modo:

$$Rni = 1,2 \cdot 10^{-4} \left[\sum_{i=1}^{72} Rn \right] \quad (4)$$

donde, Rni = flujo de radiación neta diaria (MJ m⁻² d⁻¹); i = mediciones del flujo de radiación neta en intervalos de 20 min.

El análisis de optimización lineal se realizó con la base de datos (30 días y 2.083 observaciones) de la temporada 2000/01, y la evaluación de la Ecuación 3 fue realizada con los datos (43 días y 2.160 observaciones) de la temporada 1997/98. Para evaluar el comportamiento del modelo, los flujos de radiación neta estimada (Rne) (Ecuación 3) fueron comparados con flujos de Rn observados (Rno) por un radiómetro neto (REBS-Fritschen, Q7, Campbell Scientific, Logan, Utah, USA) ubicado en la estación meteorológica automática. La comparación incluyó como parámetros estadísticos el error absoluto (Ea), el coeficiente de determinación (r²), la desviación estándar del error (DEE) y el cociente entre Rne/Rno (b). Además, se incluyó el test-Z para evaluar si b fue estadísticamente diferente de uno, con un intervalo de confianza de 95% (Ortega-Farías *et al.*, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación global entre los flujos de Rno y Rne en intervalos de 20 min se presenta en el Cuadro 1. En este cuadro se observa que existió una excelente comparación entre Rno y Rne con una DEE y r² equivalentes a 34 W m⁻² y 0,99, respectivamente. Por otro lado, el test-Z indicó que la relación entre Rne y Rno (b = 1,030) fue

significativa e igual a uno con un intervalo de confianza de 95%, sugiriendo que los flujos de Rno y Rne fueron similares. Además, en este estudio se encontró una buena comparación entre los flujos de Rno y Rne, tanto para días despejados como nublados, ya que en ambos casos el valor de b fue significativamente igual a la unidad. Lo anterior se ilustra en la Figura 1, donde se observa que la nube de puntos se concentra cerca de la línea 1:1 y presenta una dispersión regular tanto para valores altos como bajos de los flujos Rno. Por otra parte, la mayor dispersión de puntos se encontró en los días nublados y para flujos de Rno entre 300 y 500 W m⁻² (Figura 1b). Sin embargo, estas discrepancias fueron marginales y no afectaron significativamente el comportamiento diario del modelo durante el período de estudio (Figura 2). Al respecto, el análisis estadístico indicó que el modelo fue capaz de estimar el flujo diario de Rn con un error absoluto (Ea) menor a 4,1% y una DEE igual a 0,6 MJ m⁻² d⁻¹ (equivalente a 0,24 mm d⁻¹).

Cuadro 1. Comparación entre los valores de radiación neta observada y estimada para una cubierta vegetal de tomate.

Table 1. Comparison between observed and estimated net radiation values for a tomato canopy.

Condición atmosférica	r ²	b	Test-Z	DEE (W m ⁻²)
Despejado	0,99	1,032	V	26
Nublado	0,98	1,029	V	42
Total	0,99	1,030	V	34

r² = coeficiente de determinación; b = pendiente de la regresión a través del origen; DEE = desviación estándar del error; V = hipótesis nula (b = 1).

El flujo de radiación solar (Rs), Rne y Rno, en intervalos de 20 min, sobre el cultivo de tomates se indica en las Figuras 3 y 4 para días despejados y nublados, respectivamente. En estas figuras se observa que los flujos de Rne y Rno presentaron un comportamiento similar durante las 24 h, tanto para los días nublados como despejados, con flujos negativos durante la noche y positivos

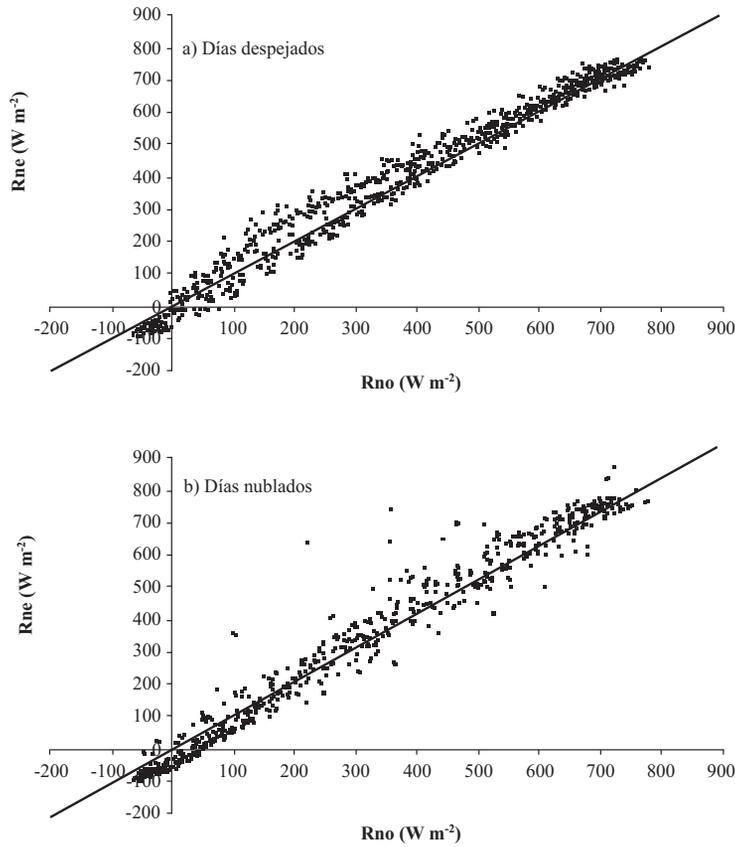


Figura 1. Comparación entre los flujos de radiación neta observada (Rno) y radiación neta estimada (Rne) sobre un cultivo de tomate en condiciones de día despejado (a) y nublado (b).

Figure 1. Comparison between observed (Rno) and estimated (Rne) net radiation fluxes over a tomato crop under clear (a) and cloudy (b) daylight conditions.

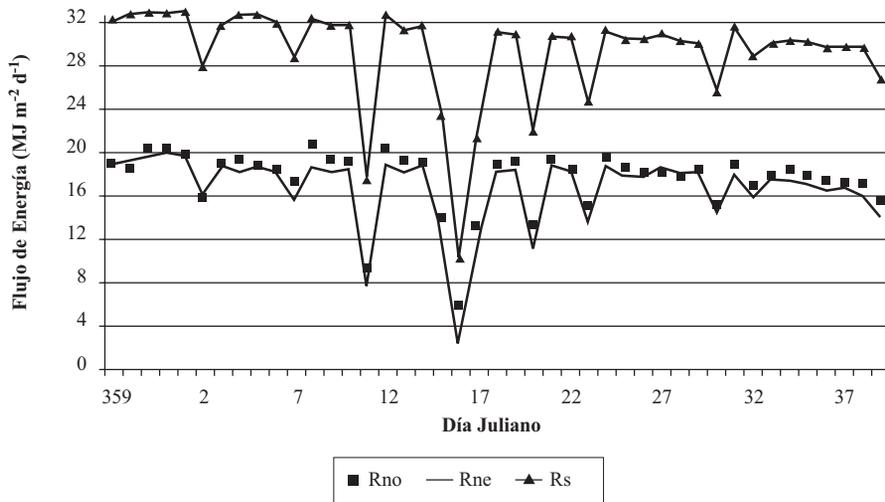


Figura 2. Evolución del flujo diario de la radiación solar (Rs), radiación neta observada (Rno) y radiación neta estimada (Rne) sobre un cultivo de tomate en condiciones de día despejado y nublado.

Figure 2. Evolution of daily fluxes of solar radiation (Rs), observed net radiation (Rno) and estimated net radiation (Rne) over a tomato crop under clear and cloudy daylight conditions.

durante el día. En los días despejados (Figura 3) puede observarse que los flujos de Rne y Rno fueron aumentando en forma gradual durante la mañana, llegando a valores máximos al mediodía. Luego, ambas curvas comenzaron a disminuir llegando a flujos negativos durante la noche, donde las diferencias entre los flujos de Rne y Rno fueron menores 40 W m^{-2} . Para el caso de la mejor comparación entre Rne y Rno (Figura 3a), el análisis estadístico indicó que el modelo estimó el flujo de Rn con un Ea menor al 2% y una DEE

equivalente a 22 W m^{-2} . Esto se ilustra en la Figura 3a, donde Rne y Rno presentaron un comportamiento muy similar durante las 24 h. Por el contrario, la peor comparación encontrada en este estudio se muestra en la Figura 3b, donde Rne fue mayor que Rno desde las 10:00 h y hasta las 16:00 h, con diferencias máximas de 80 W m^{-2} ($\text{DEE} = 42 \text{ W m}^{-2}$). En este día, los flujos diarios para Rne y Rno fueron prácticamente iguales ($17,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ o equivalentes a $7,3 \text{ mm d}^{-1}$).

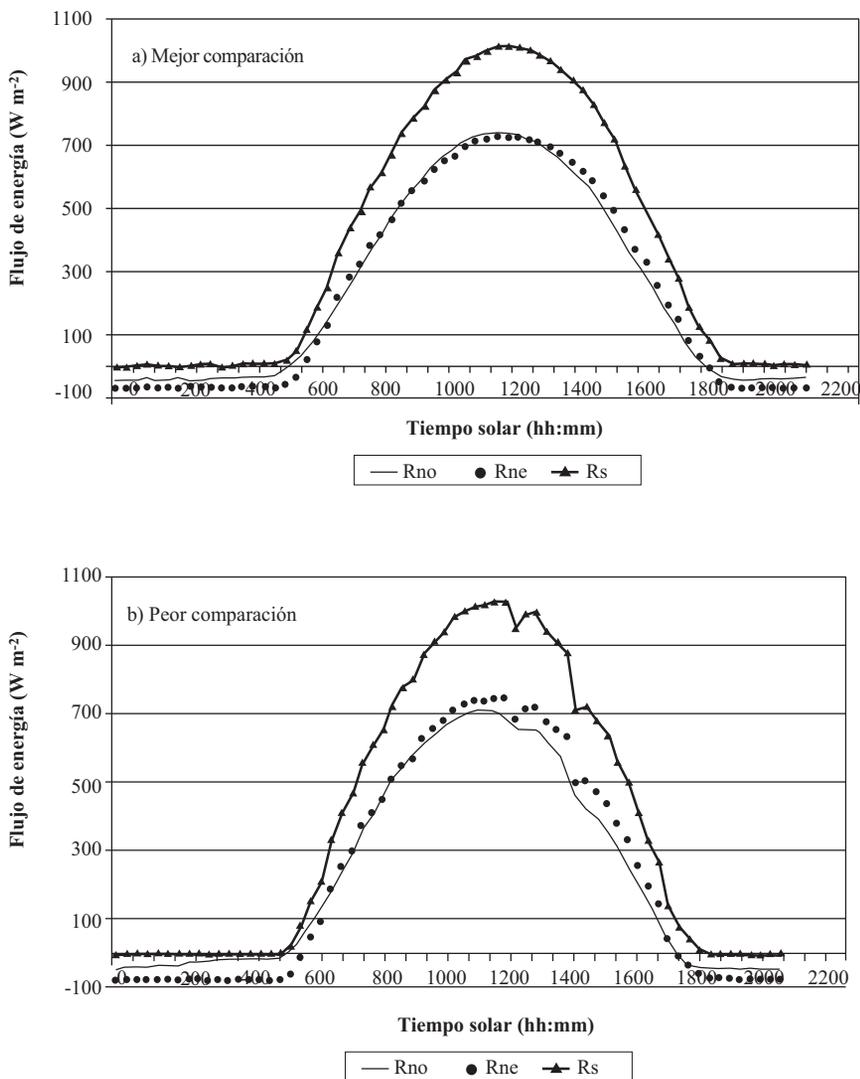


Figura 3. Variación diaria de los flujos de radiación solar (Rs), radiación neta observada (Rno) y radiación neta estimada (Rne) sobre un cultivo de tomates en condiciones de día despejado.

Figure 3. Daytime variation of solar radiation (Rs), observed net radiation (Rno) and estimated net radiation (Rne) fluxes over a tomato crop for clear daylight conditions.

En el caso de los días nublados (Figura 4), los flujos de Rne y Rno fueron fuertemente afectados por los niveles de radiación solar interceptados por el cultivo; a pesar de esto, ambas curvas presentaron una tendencia similar durante el día y la noche. Para la mejor comparación (Figura 4a), los resultados de este estudio indicaron que el modelo fue capaz de estimar el flujo de radiación neta con un Ea menor a 5,7% y una DEE = 34 W m⁻². La peor comparación se muestra en la Figura

4b, donde las mayores diferencias entre Rno y Rne fueron observadas desde las 14:00 h y hasta las 15:00 h (DEE = 47 W m⁻²; Ea = 12,8%). Los errores observados en la tarde fueron menores a 250 W m⁻² y no afectaron significativamente el cálculo diario de la Rn. Para este día los valores diarios de Rn fueron 7,7 MJ m⁻² d⁻¹ (3,1 mm d⁻¹) y 9,3 MJ m⁻² d⁻¹ (3,8 mm d⁻¹) para Rne y Rno, respectivamente.

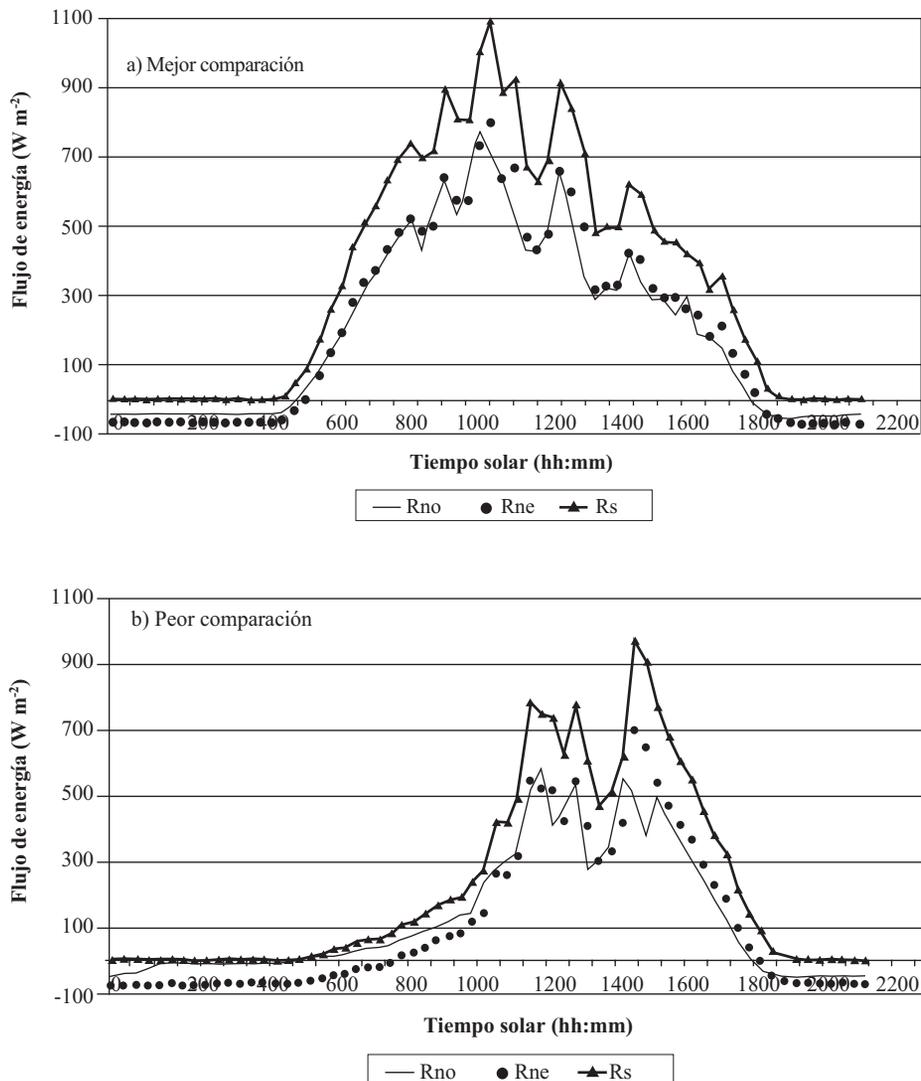


Figura 4. Flujo de radiación solar (Rs), radiación neta observada (Rno) y radiación neta estimada (Rne) sobre un cultivo de tomate en condiciones de día nublado.

Figure 4. Daytime variation of solar radiation (Rs), observed net radiation (Rno) and estimated net radiation (Rne) fluxes over a tomato crop for cloudy daylight conditions.

La evolución del flujo diario de la R_s , R_{ne} y R_{no} sobre un cultivo de tomates se presenta en la Figura 2, donde se puede observar que los flujos diarios de R_{no} y R_{ne} fueron similares durante el período de estudio, a pesar de las variaciones de la R_s interceptada por el cultivo, especialmente en los días completamente nublados. Por ejemplo, el día 16 de enero los niveles de radiación solar fueron significativamente reducidos por la nubosidad y a pesar de esto las diferencias entre los flujos diarios de R_{no} y R_{ne} fueron mínimas. Ese día, los flujos diarios de R_{no} y R_{ne} fueron $5,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-2}$ y $2,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-2}$, respectivamente.

Para reducir los errores en la estimación de R_n , Ortega-Farías *et al.* (2000a) indicaron que es muy importante mantener la cubierta vegetal en excelentes condiciones de humedad de suelo, con el objeto de minimizar el gradiente de temperatura entre el aire (T_a) y el cultivo (T_s). Al respecto, en este estudio se encontró que aproximadamente el 77% de las observaciones presentaron un gradiente de temperatura ($T_s - T_a$) que varió entre -5 y 5°C (Figura 5). Gradientes de temperatura superiores a 10°C fueron asociados a un alto déficit de presión, especialmente en días previos al riego.

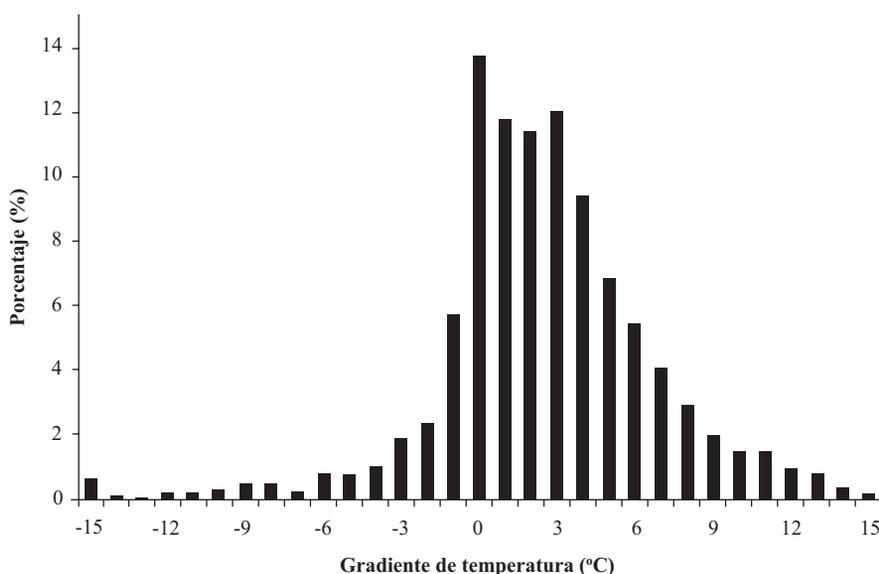


Figura 5. Frecuencia de distribución del gradiente de temperatura entre el aire y la cubierta vegetal de un cultivo de tomate, temporada 1998/99.

Figure 5. Frequency distribution of temperature gradient between the air and tomato canopy, 1998/99 season.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio indicaron que el modelo analizado es una buena alternativa para estimar el flujo de radiación neta sobre un cultivo de tomates cultivado en las condiciones climáticas de Talca, VII Región. Al respecto, el modelo fue capaz de estimar el flujo de radiación neta en intervalos de 20 min, con una desviación estándar del error (DEE) igual a 34 W m^{-2} y un error absoluto (E_a) menor al 3%. Los mayores errores fueron observados en los días nublados, pero

estos no superaron los 250 W m^{-2} y no afectaron significativamente los flujos diarios de R_n . Al respecto, el modelo estimó el flujo diario de R_n con una DEE y E_a iguales a $0,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-2}$ y 4,1%, respectivamente. De lo anterior se deduce que el modelo de R_n estudiado puede ser utilizado en la fórmula de Penman-Monteith para estimar directamente el consumo de agua del cultivo de tomate, cuando se dispone de estaciones meteorológicas automáticas.

LITERATURA CITADA

- Allen, R., L. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. 300 p. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy.
- Antonioletti, R., S. Ortega et A. Olioso. 1999. Modélisation du rayonnement net pour des applications climatiques et agro-climatiques en milieu méditerranéen et tropical maritime. Institut de Géographie, France. Publications de l'Association Internationale de Climatologie (AIC). Vol.12. p. 335-341
- Brutsaert, W. 1982. Evaporation in the atmosphere: Theory, history, and applications. 229 p. D. Reidel, Higham, Massachusetts, USA.
- Farahani, H.J., and W.C. Bausch. 1995. Performance of evapotranspiration models for maize-bare soil to closed canopy. American Society of Agricultural Engineers. Trans. ASAE 38: 1049-1059.
- Jensen M.E., R.D. Burman, and R.G. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. 332 p. Manual and reports on engineers practices N° 70. American Society of Civil Engineers (ASCE), New York, USA.
- Kjelgaard J., C. Stockle, J. Villar Mir, R. Evans and G. Campbell. 1994. Evaluating methods to estimate corn evapotranspiration from short-time interval weather data. American Society of Agricultural Engineers. Trans. ASAE. 37:1825-1833.
- Monteith, J.L., and M.H. Unsworth. 1990. Principles of environmental physics. 291 p. Edward Arnold, London, England.
- Ortega-Farías, S., R. Antonioletti, and A. Olioso. 2000a. Net radiation model evaluation at an hourly time step for mediterranean conditions. *Agronomie (Paris)* 20:157-164.
- Ortega-Farías S., R. Calderón, C. Acevedo, y S. Fuentes. 2000b. Estimación de la evapotranspiración real diaria de un cultivo de tomates usando la ecuación de Penman-Monteith. *Ciencia e Investigación Agraria* 27:91-96.
- Ortega-Farías, S., R. Cuenca, and M. Ek. 1996. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. *Agric. For. Meteorol.* 81:131-143.
- Ortega-Farías, S., W. Mediavilla, S. Fuentes, y R. Cuenca. 1998. Validación de un modelo para estimar la radiación neta de una cubierta vegetal en condiciones de referencia. *Ciencia e Investigación Agraria* 25:103-107.
- Rana, G., N. Katerji, M. Mastrorilli, M. El Moujabber, and N. Brisson. 1997. Validation of a model of actual evapotranspiration for water stressed soybeans. *Agric. For. Meteorol.* 86: 215-224
- Valdés, H. 2002. Implementación de un modelo de evapotranspiración basado en la ecuación de Penman-Monteith para tomate cultivado en invernadero. 45 p. Tesis de Magister en Horticultura. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, Talca, Chile.