



EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTE DE CULTIVO EN CHILE BANANA (*Capsicum annuum* L.) EN EL VALLE DEL YAQUI, MÉXICO

EVAPOTRANSPIRATION AND CROP COEFFICIENT OF BANANA CHILI PEPPER (*Capsicum annuum* L.) IN THE YAQUI VALLEY, MEXICO

Julio Cesar Rodríguez*¹, Christopher Watts², Jaime Garatuza-Payan³, Miguel Agustín Rivera³, Carlos Lizárraga-Celaya², Jesús Lopez-Elias¹, Andrés Ochoa-Meza¹, Sergio Francisco Moreno-Salazar¹, María Eugenia Renteria-Martinez¹

¹Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora. Carretera a Bahía Kino, Kilómetro 21. Hermosillo, Sonora, México. ²Departamento de Física, Universidad de Sonora. Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N, Col. Centro, Hermosillo, Sonora, México. ³Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente. Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de Febrero 818 Sur, Col. Centro, Ciudad Obregón, Sonora, México.

RESUMEN

Durante el ciclo invierno-primavera de 2008 se realizaron experimentos simultáneos para determinar y modelar la evapotranspiración (ET) de varios cultivos en el Valle del Yaqui, México. Uno de estos cultivos fue chile banana (*Capsicum annuum* L.) bajo acolchado y protegido con Agribon. La técnica para medición de ET fue la correlación turbulenta (EC). Los resultados mostraron que el Agribon, además de proteger al cultivo contra bajas temperaturas, plagas y enfermedades, redujo fuertemente la ET, misma que se incrementa en un 57 % posterior al retiro de esta película. Altos valores de humedad relativa (HR) persistieron durante todo el periodo de estudio. Los máximos medidos de ETC, fueron 5,5 mm día⁻¹ y 4,0-5,0 mm día⁻¹, antes y durante la cosecha, respectivamente. El coeficiente de cultivo (K_c) previo a la cosecha alcanzó valores cercanos a 1, para mantenerse posteriormente entre 0,80 y 0,90.

Palabras claves: Evapotranspiración, coeficiente de cultivo, correlación turbulenta.

ABSTRACT

During growing season winter-spring 2008, experiments to measure and modeling of Evapotranspiration (ET) on several crops at the Yaqui Valley Mexico were carried out. One of these crops was banana chili pepper (*Capsicum annuum* L.) under mulching and protected using an Agribon film. A correlation technique (EC) was used to measure ET. Results showed that Agribon film protected crops from low temperature, diseases, and pests, and strongly reduced ET. ET increased 57 % after the film was removed. High values of relative humidity persisted during this period. The maximum ET value measured was about 5.5 mm day⁻¹, while previous to harvest and during this, ET value was around 4.0 to 5.0 mm day⁻¹. The highest value for crop coefficient (K_c) was registered previous to harvest and was close to 1 and before harvest K_c was kept between 0.80 and 0.90.

Keywords: Evapotranspiration, crop coefficient, turbulent correlation.

*Autor para correspondencia: Dr. Julio Cesar Rodríguez
Correo electrónico: jcrodr@guayacan.uson.mx
Recibido: 1 de noviembre de 2011
Aceptado: 7 de diciembre de 2011

INTRODUCCIÓN

El agua es la principal limitante para el desarrollo de la agricultura en zonas áridas del noroeste de México (Watts *et al.*, 1999). La determinación de los requerimientos de agua por los cultivos, ha sido y continúa siendo una necesidad científica y tecnológica para ahorrar agua, nutrientes, etc. En este sentido se han propuesto metodologías para medir el consumo de agua de los cultivos o evapotranspiración (ET) a diferentes escalas espaciales y temporales usando sensores remotos (SR), balance hídrico y energético, coeficientes de cultivos (K_c) y modelos-sensores remotos (Samani *et al.*, 2009; Anderson *et al.*, 2007; Garatuza y Watts, 2005; Anderson *et al.*, 2003; Watts *et al.*, 1999). En el cálculo de K_c están incluidas dos variables, la evapotranspiración de referencia (ET_0) y la evapotranspiración del cultivo (ET_c). ET_0 es un parámetro relacionado con el poder evaporante de la atmósfera y se calcula para una superficie de referencia, "pasto hipotético" con características específicas (altura 12 cm, albedo 0,23, resistencia superficial 70 s m^{-1}) y sin restricciones de agua, semejando a una superficie extensa de pasto verde bien regado, de altura uniforme, crecimiento activo y cobertura total (Allen *et al.*, 1998). La magnitud de K_c generalmente es una función del tipo de cultivo, uso o no de cobertura, tipo de metabolismo, etapa fenológica del cultivo, tipo y lámina de riego, estado nutricional y estatus del agua en el suelo. La metodología basada en K_c ha sido ampliamente utilizada para determinar ET_c en cultivos anuales (trigo y algodón, Garatuza *et al.*, 1998) y perennes (Vid y nogal, Rodríguez *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2008) en el noroeste de México. Sin embargo, la información sobre metodologías para la determinación de ET_c y K_c en hortalizas como el chile es escasa, sobre todo en el caso de cultivos con acolchado y la aplicación de técnicas turbulentas (EC) para determinar la ET. El chile es una de las hortalizas que más se siembra en el sur de Sonora, comercializándose en su mayoría en los mercados de exportación, por lo que requiere un manejo cuidadoso, sobre todo en la etapa de floración-fructificación, cuando es sensible al

déficit de agua en el suelo (SAGARPA, 2008). En este sentido, se presentan aquí los valores registrados para las determinaciones de ET_c y K_c sobre una extensa superficie sembrada con chile banana en el Valle del Yaqui, como una primera aproximación a la implementación de los sensores remotos en el cálculo de evapotranspiración.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el ciclo invierno-primavera de los años 2007-2008 se realizaron mediciones micro-meteorológicas para determinar el consumo de agua de los siguientes cultivos anuales: chile, sorgo, papa, trigo, cártamo, brócoli, frijol y garbanzo, sembrados sobre una superficie de 1600 ha en el Valle del Yaqui, México. Se instalaron en cada sitio de estudio un equipo de correlación turbulenta (EC) y scintilómetros (LAS), sobre largos transectos que incluían varios cultivos (Fig. 1).

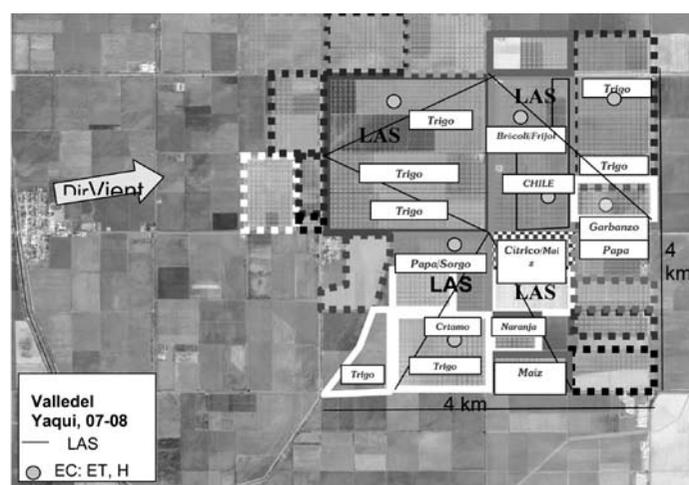


Figura 1. Sitio experimental 2007-2008, Valle del Yaqui, México.

Figure 1. Experimental site 2007-2008, Yaqui Valley, Mexico.

En 94 de estas hectáreas se sembraron diversas variedades de chiles, y en el centro de esta superficie, se sembró chile banana. Sobre este cultivo fue

instalada una torre para medir las componentes de la ecuación de balance de energía (Radiación neta R_n , flujo de calor latente LE y sensible H y flujo de calor de suelo G), mediciones meteorológicas (temperatura y humedad en el aire, velocidad y dirección de vientos,

precipitación, presión barométrica y radiación solar) y del suelo (humedad y temperatura), (Tabla 1, Fig.2). Los flujos turbulentos (flujo de calor sensible y latente) fueron medidos bajo la técnica de correlación turbulenta (EC).

Tabla 1. Sensores instalados sobre una superficie de 1 600 ha, con 24 ha de chile banana, Valle del Yaqui, México.

Table 1. Sensors installed over a 1 600 ha surface with 24 ha of banana chili pepper, Yaqui Valley, Mexico.

Sensor	Variable	A. sensor (m)
Radiómetro neto, Rn-lite	Radiación neta	2,80
Higrómetro, KH20	Humedad en el aire	3,30
Anemómetro sónico, CSAT3	Velocidad de viento (x, y, z)	3,30
Piranómetro	Radiación solar	2,80
Vaisala, HMP45	Temperatura y humedad en el aire	2,90
Piranómetro	Albedo	2,80
Radiómetro	Temperatura de la superficie	2,75
Radiómetro	PAR	3,00
TDR	Humedad de suelo	- 0,15 y -0,30
Termómetro	Temperatura de suelo	- 0,15 y -0,30
SHP	Flujo de calor en el suelo	- 0,025 y -0,05
Adquisidor de datos CR5000		



Figura 2. Instrumentación micrometeorológica en chile banana, Valle del Yaqui, México. 2008.

Figure 2. Micrometeorological instrumentation on banana chili pepper fields, Yaqui Valley, Mexico. 2008.

Todos los sensores fueron conectados a un colector de datos CR5000 (Campbell SCI) y los datos almacenados en una tarjeta Compact flashcard. Los sensores para determinar los flujos turbulentos fueron muestreados a 20 Hz y el resto de sensores a 0,1 Hz. Los datos EC fueron reprocesados usando el programa ECPACK desarrollado por el grupo de calidad de aire de la Universidad de Wageningen (Holanda) e incluyó las correcciones a la temperatura por la presencia de humedad, del oxígeno para el higrómetro y correcciones a vientos (Van Dijk *et al.*, 2003; Wilczak *et al.*, 2001; Webb *et al.*, 1980). Considerando que la falta de cierre en la ecuación de balance fue del 10-20% no fue aplicada la corrección de la relación de Bowen sugerida por Twine *et al.* (2000), para la obtención de los flujos turbulentos (Evapotranspiración LE y calor sensible H).

El cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o) y coeficiente de cultivo (K_c) se realizó utilizando las ecuaciones propuestas por Allen *et al.* (1998) y Doorenbos y Pruitt (1977).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

donde; ET_o evapotranspiración de referencia (mm día^{-1}), R_n radiación neta ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), G flujo de calor del suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), T es la temperatura del aire promedio diario ($^{\circ}\text{C}$), Δ pendiente de la curva de presión a saturación a T ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$), γ constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$), e_s presión de saturación del vapor a T (kPa), e_a presión de vapor promedio diario (kPa), u_2 velocidad de viento promedio diario a 2 m de elevación (m s^{-1}).

$$K_c = K_{cb} * K_s + K_e = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (2)$$

donde; K_{cb} es la transpiración del cultivo, K_s estrés hídrico, K_e la evaporación del suelo y ET_c es la evapotranspiración medida (mm día^{-1}).

Considerando que el agua disponible como humedad de suelo para evapotranspirar fue menor al 50% de la diferencia de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, no se realizó corrección por estrés hídrico ($K_s, K_s=1$), asimismo, dado que el suelo se encontraba cubierto con plástico el componente de evaporación del suelo (K_e) tampoco se consideró en el cálculo de K_c (Allen *et al.*, 1998).

Manejo agronómico. La superficie sembrada con Chile banana fue cubierta con plástico negro el 10 de enero y regada durante 24 horas para formación del bulbo de humedad. Se trasplantó el 21 de enero a doble hilera por surco con una distancia entre surco y surco de 1,6 m, con una densidad de 40,000 plantas por hectárea. La cosecha inició el 28 de abril realizándose cortes periódicos por semana durante los siguientes 2 meses, con una producción de entre 12 y 15 t ha^{-1} . Se colocó y retiró el Agribon el 15 febrero y el 7 de abril, respectivamente. El sistema de riego fue presurizado (goteo). La fertirrigación fue manejada por el productor y el riego varió de 3 a 6 horas diarias, dependiendo de la etapa fenológica del cultivo y de las condiciones ambientales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 3 muestra la energía disponible en la superficie (R_n-G) y las componentes de los flujos turbulentos ($LE+H$). De acuerdo a Twine *et al.* (2000) se deben de cumplir los principios de conservación de la energía y la materia, $R_n-G = LE+H$. En ella se observa que la energía disponible es superior a los flujos turbulentos en un 18% a una frecuencia de datos de 30 min., situación que ha sido reportada en varias investigaciones (Wilson *et al.*, 2002; Mauder *et al.*, 2007) y se han propuesto como alternativas para el cierre de balance, el uso de la ecuación de Bowen ($\beta=LE/H$), donde ET medida es sustituida por la estimada mediante Bowen. En este caso, como fue comentado previamente, no se utilizó ET estimada, se mantuvo la obtenida por técnicas turbulentas.

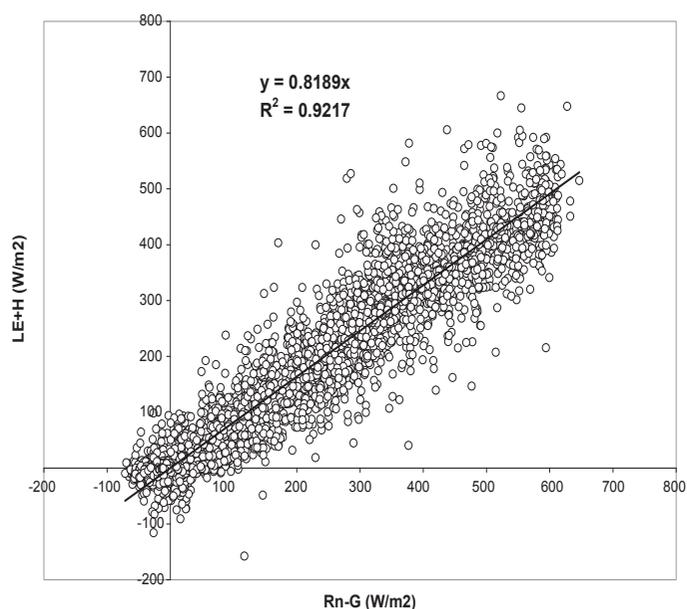


Figura 3. Energía disponible y flujos turbulentos a frecuencia de 30 min. en chile banana en el Valle del Yaqui, México. 2008.

Figure 3. Available energy and turbulent fluxes at a frequency of 30 min in banana chili at the Yaqui Valley, Mexico. 2008.

La Figura 4, muestra el comportamiento de la temperatura del aire (T_a) y humedad relativa (HR) media diaria. En el caso de la T_a se observa un incremento gradual estacional (invierno-primavera) de 12,7 a 24,8 °C como media diaria. Durante todo el periodo las T_a mínimas y máximas fueron de 2,4 °C en enero 24 y 35,8 °C en mayo 11, respectivamente, periodo en donde la colocación del Agribon protegió a la plántula de heladas. Por otro lado, la HR tuvo su mínimo de 14% en mayo 14 y máximo de 99% en enero 24, pero en general las HR máximas oscilaron entre 75 y 99% y las mínimas de 14 a 78%. Lo anterior muestra la alta presencia de HR sobre el cultivo durante buena parte de su ciclo y con esto el alto riesgo a plagas y enfermedades tales como: mosquita blanca, paratrioza, hongos y virosis, entre otras.

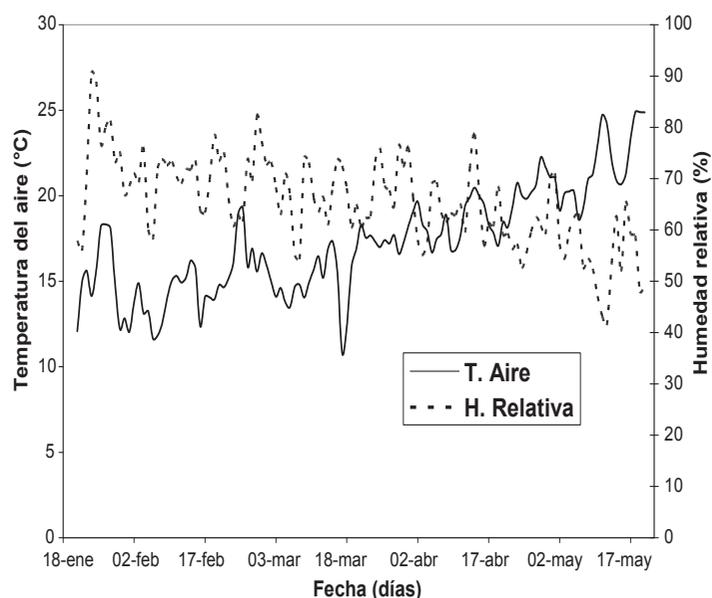


Figura 4. Comportamiento diario de la temperatura y humedad del aire en el 2008, Valle del Yaqui, México.

Figure 4. Temperature and air humidity daily behavior during January-May 2008 at the Yaqui Valley, Mexico.

Posterior al retiro del Agribon la temperatura de la superficie (follaje) se incrementó, pasando de 31,4 a 34,3 °C, pero no así la temperatura del suelo a 15 cm y 30 cm (23,8 a 23,6°C), debido a que el follaje cubría toda el área de acolchado. Al principio, cuando el chile tenía la mínima cobertura, la diferencia entre las temperaturas fue positiva ($T_{15\text{ cm}} > T_{30\text{ cm}}$), mientras que con el incremento en la cobertura ($T_{30\text{ cm}} > T_{15\text{ cm}}$), contrario a lo observado por Inzunza *et al.* (2007) para acolchado de color similar.

La evapotranspiración requiere gran cantidad de energía o calor, por lo que este proceso es controlado por intercambio de energía entre la superficie y la atmósfera y limitado por la energía disponible

(principio de conservación de energía). La Figura 5 muestra los componentes de la ecuación de balance de energía (ET, Rn, H y G) a escala diaria, desde su plantación hasta un mes después de iniciada la cosecha, en este caso, convertidas a lámina (mm día⁻¹, L calor latente de vaporización, 2,45 10⁶J Kg⁻¹). En ella se observa que la energía disponible (Rn-G), varía de 2,5 a 6,7 mm día⁻¹, mientras que G se mantiene positiva durante el tiempo cuando la cobertura es baja y tiende a cero o negativa al incrementarse la cobertura del Chile banana. El Flujo de calor sensible (H) inicia con valores positivos ~ 2,5 mm día⁻¹ y termina con valores negativos cercanos a 1 mm día⁻¹, posterior al retiro del Agribon. La ET en Chile banana varió de 0,5 mm a 5,5 mm posteriores al retiro del Agribon, valores cercanos al de energía disponible.

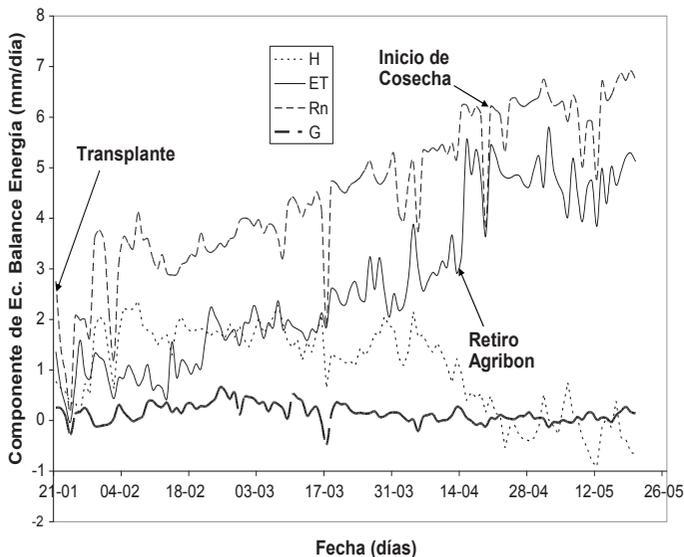


Figura 5. Componentes de la ecuación de balance de energía en Chile banana, Valle del Yaqui, México. 2008.

Figure 5. Energy balance equation components in banana chili pepper, Yaqui Valley, Mexico. 2008.

La Figura 6, muestra la ET_o , ET_c y K_c medidos en Chile bajo acolchado y cubierto con Agribon desde el trasplante hasta un mes posterior a la cosecha. En ella se observa que los valores ET_o oscilaron de 2,7 a 6,8 mm día⁻¹ durante el periodo de plantación a cosecha. El valor es dependiente del clima, así que con el incremento en la temperatura y radiación de invierno a primavera aumentó, presentando un comportamiento típico para estas regiones áridas. La ET_c inmediatamente después del trasplante fue debida principalmente al agua derramada por el inadecuado sistema de riego y a la cubierta plástica. Durante el periodo de floración/fructificación estos valores fueron de alrededor de 2 mm día⁻¹, mientras que en la etapa de maduración de fruto la ET_c se incrementó linealmente hasta alcanzar valores de 3,5 mm día⁻¹, previo al retiro del Agribon. Posterior al retiro del Agribon, la ET_c se incrementó de manera importante, alcanzando valores hasta 5,5 mm día⁻¹, significando un aumento de 57%, valores inferiores a los observados por Klar y Jadoski (2004) en pimiento con acolchado, e inferiores a los observados por Miranda *et al.* (2006), en Chile tabasco en ambientes tropicales bajo riego presurizado, pero sin acolchado. Durante la cosecha la ET_c se mantuvo en valores promedio de 4-5 mm día⁻¹. En la misma Figura 6 se observa el K_c del cultivo. Su valor inicial en la etapa de crecimiento fue 0,20-0,30, mientras que la etapa de desarrollo alcanzó valores de 0,40 a 0,60, estos valores son bajo a los observados por Miranda *et al.* (2006). Durante la etapa de madurez del fruto y cosecha, los valores K_c oscilaron alrededor de 0,85 y en algunos días se registraron valores superiores a 1, principalmente después del retiro del Agribon y posterior a la primera cosecha, donde se aplicó un riego pesado. Estos máximos valores observados son inferiores a los reportados por Allen *et al.* (1998) y Miranda *et al.* (2006) de 1,0 y 1,2 para sistemas de riego no presurizados, respectivamente.

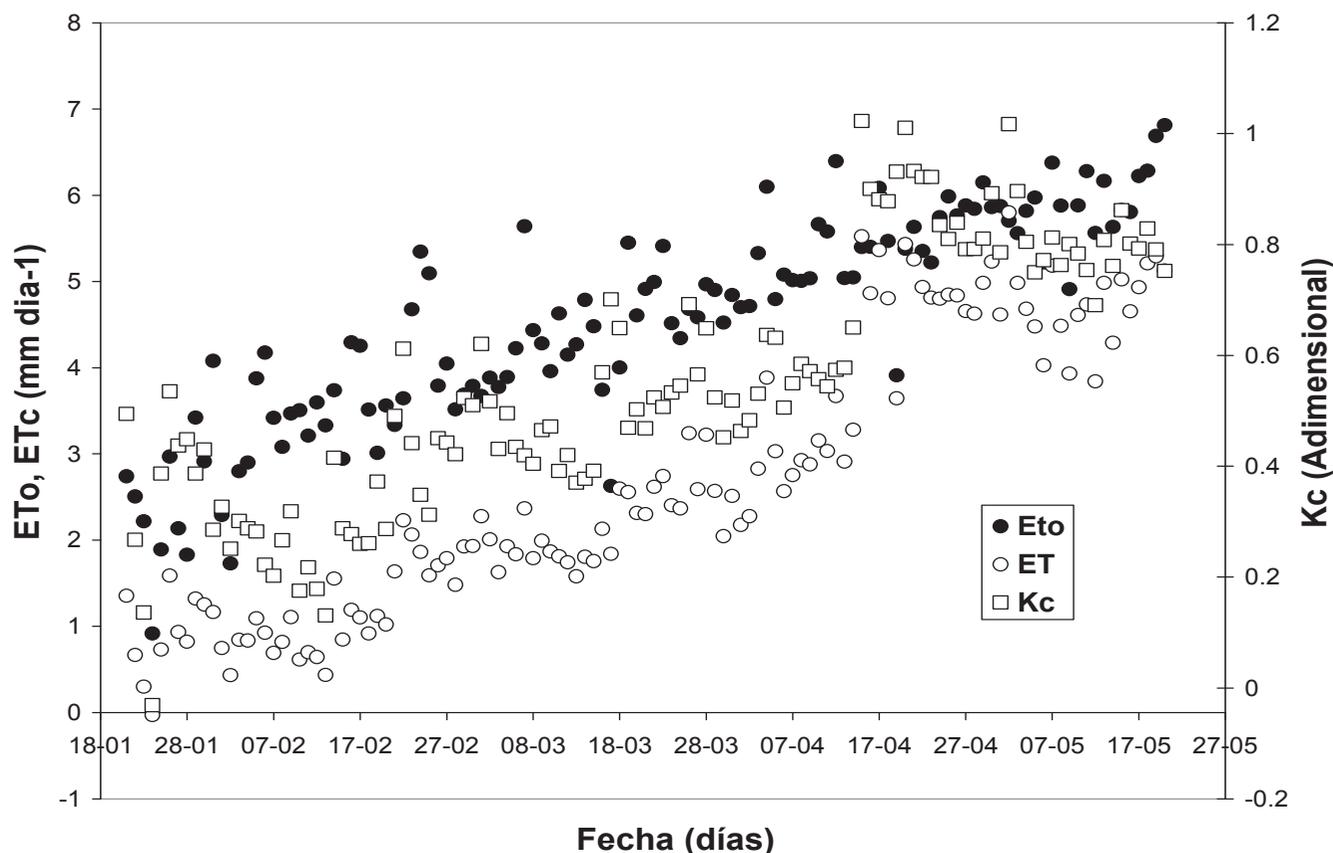


Figura 6. ETo, ETc y Kc en chile banana, Valle del Yaqui, México, 2008.

Figure 6. ETo, ETc, and Kc values of banana chili pepper, Yaqui Valley, Mexico. 2008.

El consumo total de agua por el chile banana (ET) fue de 327 mm durante los 120 días que duro el experimento, valor muy inferior a lo reportado por Figueroa *et al.* (2006) y Miranda *et al.* (2006) para zonas semi-áridas y tropicales.

CONCLUSIONES

El chile es una de las principales hortalizas sembradas en el sur de Sonora, sensible al estrés hídrico por lo que la medición de ET_c es una prioridad en su manejo. La ET_c es una manera de determinar las necesidades hídricas de los cultivos y la calidad de sus datos permite validar modelos espaciales de ET. Los resultados observados muestran que la temperatura del aire presenta pocos cambios durante el periodo, mientras que la humedad relativa se mantiene alta,

lo cual la hace susceptible a plagas y enfermedades. La temperatura del suelo y del cultivo presentaron pocos cambios durante el periodo evaluado por la presencia de Agribon al inicio y la alta cobertura vegetal posteriormente. Los valores de ET_c fueron altos posterior al retiro del Agribon, el cual reduce significativamente la ET en un 57%, por lo que esta superficie cumple varias funciones (proteger de bajas temperaturas, plagas y enfermedades y reducir la evapotranspiración). El valor de K_c fue inferior a lo reportados por Allen *et al.* (1998) y Miranda *et al.* (2006), por lo que se requiere hacer más investigación para validar los valores bajos de ET_c que pueden significar un importante ahorro de agua y nutrientes aplicados por el productor y una menor carga contaminante al acuífero y los esteros del Valle del Yaqui.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT, al proyecto PLEIADES y a la Universidad de Sonora que apoyaron mi retención y financiaron la serie de trabajos realizados en el Valle del Yaqui y Costa de Hermosillo. De igual forma, deseamos agradecer al Ing. José Antonio Gándara Terrazas como productor cooperante para la realización de este experimento y a todos los estudiantes que participaron en el.

REFERENCIAS

- Anderson, C., Kustas, W.P. y Norman, J.M. 2003. Upscaling and downscaling- a regional view of the soil-plant-atmosphere continuum. *Agronomy Journal*. 95:1408-1423.
- Anderson, C., Kustas, W.P. y Norman, J.M. 2007. Upscaling flux observation from local to continental scales using thermal remote sensing. *Agronomy Journal*. 99:240-254.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements- FAO Irrigation and drainage paper 56, first ed. FAO, Rome, 339 pp.
- Doorenbos, J. y Pruitt, E.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements- FAO Irrigation and drainage paper 24, first ed. FAO, Rome, 144 pp.
- Figueroa, R., Vázquez C. y Cabral, F. 2006. Acolchado plástico y cuatro laminas de riego con diferentes métodos para evapotranspiración en el cultivo de chile serrano (*Capsicum annuum* L.). *Agrofaz*. 6(1):43-48.
- Garatuza-Payan, J., Shuttleworth, W.J., Encinas, D., McNeil, D., Stewart, J.B., de Bruin, H.A.R. y Watts, C. 1998. Measurement and modeling evaporation for irrigated crops in north-west Mexico. *Hydrol. Process*. 12:1397-1418.
- Garatuza-Payan, J. y Watts, C. 2005. The use of remote sensing for estimating ET of irrigated wheat and cotton in Northwest Mexico. *Irrig. Drain. Sys*. 19:301-320.
- Inzunza-Ibarra, M.A., Mendoza-Moreno, S.F., Catalán-Valencia, E.A., Villa-Castorena, M.M., Sánchez-Cohen, I. y Román-López, A. 2007. Productividad de chile jalapeño en condiciones de riego por goteo y acolchado plástico. *Fitotecnia*. 30(4): 429-436.
- Klar, A.E. y Jadoski, S.O. 2004. Irrigation and mulching management for sweet pepper crop in protected environment. *IrrigaBotucatu*. 9(3):217-224.
- Mauder, M., Oncley, S.P., Vogt, R., Weidinger, T., Ribeiro, L., Bernhofer, C., Foken, T., Kohsier, W., de Bruin, H.A.R. y Liu, H. 2007. The energy balance EBEX-2000, Part II: Intercomparison of eddy-covariance sensors and post-field data processing methods. *Boundary-Layer Meteorol*. 123:29-54.
- Miranda, F.R., Gondim, R.S. y Costa, C.A.G. 2006. Evapotranspiration and crop coefficients for Tabasco pepper. *Agric. Water. Manag.* 82:237-246.
- SAGARPA.SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA, MÉXICO, www.2008.http://www.siap.sagarpa.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351(diciembre 2011).
- Rodríguez, J.C., Grageda-Grageda, J., Watts, C., Garatuza-Payan, J., Valenzuela-Martínez, A., Moreno-Salazar, S. y Ochoa-Meza, A. 2008. Evapotranspiración y coeficiente de cultivo en cultivares de uva de mesa en la Costa de Hermosillo, Sonora, México. Presentado en XI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas, Mexicali, BC, MX, 23-24 Oct., 46-51.
- Rodríguez, J.C., Grageda, J., Watts, C.J., Garatuza-Payan, J., Castellanos-Villegas, A., Rodríguez-Casas, J., Saiz, J. y Olavarrieta, V. 2010. Water use by perennial crops on the lower Sonora watershed. *Journal of Arid Environment* 74:603-610.
- Samani, Z., Bawazir, A.S., Bleiweiss, M., Skaggs, R., Longworth, J., Tran, V.D. y Pinon, A. 2009. Using remote sensing to evaluate the spatial variability of evapotranspiration and crop coefficient in the lower rio Grande Valley, New Mexico. *Irrigation Science*. 28:93-100.
- Twine, T.E., Kustas, W.P., Norman, J.M., Cook, D.R., Houser, P.R., Meyers, T.P., Prueger, J.H., Starks, P.J. y Wesely, M.L. 2000. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. *Agric. For. Meteorol*. 103:279-300.
- Van Dijk, A., Kohsiek, W. y De Bruin, H.A.R. 2003. Oxygen sensitivity of Krypton and Lyman- hygrometers. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 20: 143-151.
- Watts, C.J., Rodríguez, J.C., Garatuza-Payan, J., de Bruin, H.A.R. y Stewart, J.B. 1999. Estimación de evaporación y radiación solar en el valle del Yaqui Sonora usando datos de satélite. *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol XIV, Num 3, 45 - 53.
- Webb, E.K., Pearman, G.I. y Leuning, R. 1980. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 106:85-100.
- Wilczak, J., Oncley, S. y Stage, S.A. 2001. Sonic anemometer tilt correction algorithms. *Boundary-Layer Meteorology*. 99: 127-150.
- Wilson, K., Goldstein, A., Falge, E., Aubinet, M., Baldocchi, D., Bernhofer, P., Bernhofer, C., Ceulemans, R., Dolman, H., Field, C., Grelle, A., Ibrom, A., Law, B.E., Kowalski, A., Mayers, T., Montcrief, J., Monson, T., Oechel, W., Tenhunen, J., Valentini, R. y Verna, S. 2002. Energy balance closure at fluxnet sites. *Agric. For. Meteorol*. 113:223-243.

