

EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTE DE CULTIVO EN CHILE BANANA (*CAPSICUM ANNUUM* L) EN EL VALLE DEL YAQUI, MÉXICO

Julio Cesar Rodríguez¹, Christopher Watts², Jaime Garatuza Payan³, Miguel Rivera³, Carlos Lizárraga Celaya², Jesús López Elias¹, Julio Rodríguez Casas¹. ¹UNISON-DAG, ²UNISON-Física, ³ITSON-DCAMA. jcrodr@fisica.uson.mx

Palabras clave: Evapotranspiración, coeficiente de cultivo, correlación turbulenta, chile banana.

RESUMEN

Durante el invierno y primavera 2008 fueron realizados una serie de 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 muestran que el Agribon además de proteger al cultivo contra bajas temperaturas, plagas y enfermedades reduce fuertemente la ET, posteriormente al retiro de esta película esta se incremento en un 57%. Altos valores de humedad relativa (HR) persistieron durante todo el periodo de estudio. Los valores máximos medidos de Evapotranspiración del cultivo (ET_c) fueron 5.5 mm día^{-1} previos a la cosecha y durante esta de alrededor de 5.0 mm día^{-1} . El coeficiente de cultivo (K_c) previo a la cosecha alcanzo cercanos a 1, para posteriormente mantenerse entre 0.80 y 0.90.

ABSTRACT

During winter and spring 2008 were taken several experiments at same time to measure and modeling of Evapotranspiration (ET) on some crops on the Yaqui Valley Mexico. One of these crops was banana chili pepper (*Capsicum annuum* L) under mulching and protected it by Agribon film. Correlation technique (EC) was used to measure ET. The results shown that Agribon film protected the crops from low temperature, disease and pests and reduced strongly the ET, after that this film was removed it increased on 57%. High values of relative humidity persisted on this period. The maximum ET value measured was about 5.5 mm day^{-1} previous to harvest and during this time these were of 5.0 mm day^{-1} . Crop coefficient (K_c) previous to the harvest reached value close to 1 and after that it kept between 0.80 and 0.90.

INTRODUCCIÓN

El agua es la principal limitante para el desarrollo de la agricultura en las zonas áridas en el 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 propuestos 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 energía, 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_o) y la evapotranspiración del cultivo (ET_c). ET_o 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. Asemejando 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 de tipo de cultivo o planta, cobertura, ruta metabólica, etapa fenológica en análisis, metodología 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, Rodríguez *et al.*, 2008) en el noroeste de México. Sin embargo, en el caso de hortalizas (chiles) al parecer no existe mucha información sobre metodologías para la determinación ET_c y K_c sobretodo en cultivos con acolchado y técnicas turbulentas (EC) para determinar la ET. El chile es una de las hortalizas que más son sembradas en el sur de Sonora para la exportación y requiere un manejo cuidadoso, sobre todo en la etapa de floración-fructificación, cuando es sensible al déficit de agua en el suelo. En este sentido se

presenta este estudio para determinar la ET_c y K_c sobre una extensa superficie sembrada con chiles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sobre una superficie de 1600 ha en el valle del Yaqui en el 2008, se realizaron mediciones micrometeorológicas para determinar el consumo de agua de cultivos anuales. En 94 ha sembradas de diversas variedades de chiles, en el centro de esta sobre chile banana fue instalada una torre micrometeorológica 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) y otras mediciones meteorológicas y del suelo (Cuadro 1, Figura 1). Los flujos turbulentos (flujo de calor sensible y latente) fueron medidos bajo la técnica de correlación turbulenta (EC).

Cuadro 1 Sensores instalados sobre una superficie de 10 ha en chile banana, Valle del Yaqui, México.

Sensor, Fabricante	Variable	A. sensor (m)
Radiómetro neto, Rn-lite, Kipp and Zonen	Radiación neta	2.80
Higrómetro, KH ₂ O, Campbell Sci	Humedad en el aire	3.30
Anemómetro sónico, CSAT3, Campbell Sci	Velocidad de viento (x, y, z)	3.30
Piranómetro cm3, Kipp and Zonen	Radiación solar	2.80
HMP45, Vaisala	Temperatura y humedad en el aire	2.90
Piranómetro, Kipp and Zonen	Albedo	2.80
Radiómetro, Apogee	Temperatura de la superficie	2.75
Radiómetro, Delta_T	PAR	3.00
TDR 616, Campbell Sci	Humedad de suelo	- 0.15 y -0.30
Termómetro 109, Campbell Sci	Temperatura de suelo	- 0.15 y -0.30
SHP, Campbell Sci	Flujo de calor en el suelo	- 0.025 y -0.05
Adquisidor de datos CR5000		

Todos los sensores fueron conectados a un adquisidor 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 en el aire de la Universidad de Wageningen (Holanda) e incluye las correcciones a la temperatura por la presencia de humedad, del oxígeno para el higrómetro y correcciones a vientos (Van Dijk *et al.*, 2003; Webb *et al.*, 1980; Wilczak *et al.*, 2001). Considerando que la falta de cierre en la ecuación de balance fue del 10% 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).



Figura 1. Instrumentación meteorológica en chile banana, Valle del Yaqui, 2008.

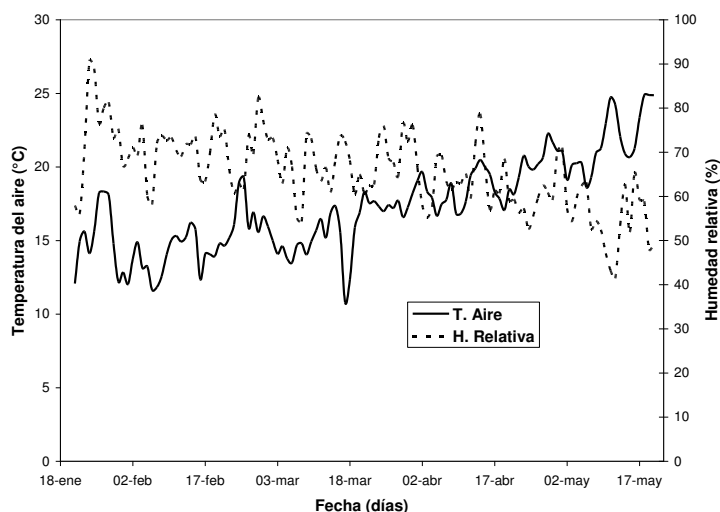


Figura 2. Comportamiento diario de la temperatura y humedad del aire en el 2008, Valle del Yaqui.

El cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o) y Coeficiente de cultivo (K_c) fue realizado utilizando la propuesta 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 velocidad de viento promedio diario a 2m de elevación (m s^{-1}).

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (2)$$

donde; ET_c es la evapotranspiración medida (mm día^{-1}).

Al Considerar que el agua disponible como humedad de suelo para evapotranspirar era menor al 50% de la diferencia de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, no se realizó corrección por estrés hídrico (K_s) al cálculo de K_c (Allen *et al.*, 1998).

Manejo agronómico. Las plantas de chile banana fueron transplantadas el 21 de enero y el inicio de cosecha 28 de abril y cosechada periódicamente durante 2 meses. La superficie fue cubierta con plástico y agribon. El sistema de riego fue presurizado (goteo). La ferti-irrigación fue manejada por el productor y el riego varió de 3 a 6 horas diarias. El agribon fue instalado 15 de febrero y retirado previo a la cosecha (abril 7).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 2, 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 el incremento gradual estacional (invierno-primavera) de 12.7 a 24.8 $^{\circ}\text{C}$ como media diaria. Durante todo el periodo la T_a mínima y máxima fueron de 2.4

°C en enero 24 y 35.8 °C en mayo 11, respectivamente. Por otro lado, la HR tuvo su mínimo de 14% en mayo 14 y máximo de 99% en enero 24, pero en general la 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 el riesgo a plagas y enfermedades tales como (mosquita blanca, paratiroza y virosis, entre otras) se incrementa considerablemente.

Posterior al retiro del Agribon la temperatura de la superficie (follaje) se incremento, 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 del acolchado. Al principio cuando el chile tenía la mínima cobertura la diferencia entre las temperaturas fue positiva ($T_{15\text{cm}} >$ que a 30 cm de profundidad), mientras que con el incremento en la cobertura ($T_{30\text{cm}} >$ que 15 cm), contrario al observado por Inzunza *et al.* (2007), para acolchado de color similar.

La evapotranspiración requiere gran cantidad de energía o calor, por lo siguiente 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 3 muestra las componentes de la ecuación de balance de energía (ET, Rn, H y G, $Rn-G = ET+H$) de plantación hasta un mes después de iniciada la cosecha, en este caso, convertidas a lamina (mm/día, L calor latente de vaporización, $2.45 \cdot 10^6 \text{ J Kg}^{-1}$). 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 que 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 $\sim 2.5 \text{ mm día}^{-1}$ y termina con valores negativos cercanos a 1 mm día⁻¹, posteriormente al retiro del Agribon. La ET en chile banana vario de 0.5 mm a 5.5 mm posteriores al retiro del Agribon, valores cercanos al energía disponible.

La figura 4, muestra la ET_c , ET_o y K_c medidos en chile bajo acolchado y cubierto con Agribon desde el transplante 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, este presento un comportamiento típico para estas regiones áridas. La ET_c inmediatamente después del transplante fue principalmente el agua derramada por el sistema de riego por inadecuada aplicación del riego y de 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 incremento linealmente hasta alcanzar valores de 3.5 mm día⁻¹, previo al retiro del Agribon. Posterior al retiro del Agribon la ET_c se incremento de manera importante, alcanzando valores hasta 5.5 mm día⁻¹, significando un incremento de 57%, valores inferiores a los observados por Klar y Jadoski (2004) en 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 5 mm día⁻¹. En la misma figura se observa el K_c y su valor inicial en la etapa de crecimiento fue 0.20 - 0.30, mientras que la etapa de desarrollo alcanzo 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 fueron alrededor de 0.85 y en algunos días valores superiores a 1, principalmente después del retiro del Agribon y posterior la primera cosecha, donde se aplica 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.

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, respectivamente.

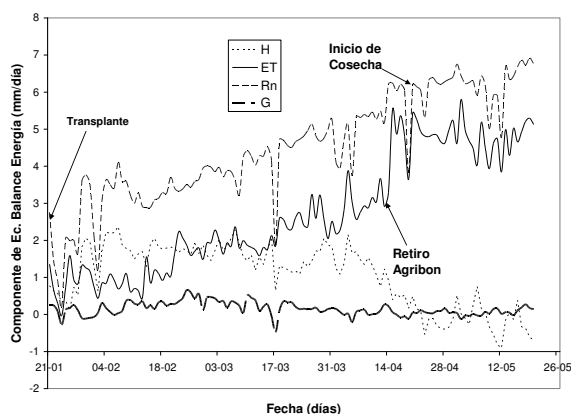


Figura 3. Componentes de la ecuación de balance de energía en chile banana, Valle del Yaqui 2008.

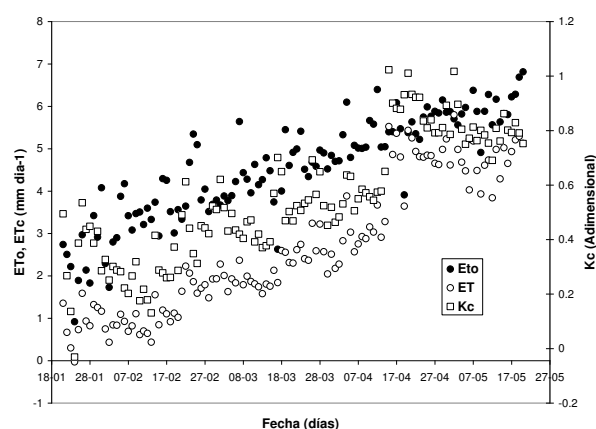


Figura 4. ET_c , ET y K_c en chile banana, Valle del Yaqui, México, 2008.

CONCLUSIONES

El chile es una de las principales hortalizas sembrada en el sur de Sonora, sensible al estrés hídrico por lo que la medición de ET_c es una prioridad en su manejo. La EC es una manera 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 denota 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 tuvieron pocos cambios durante el periodo evaluado por la presencia de Agribon al inicio y la alta cobertura 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 previos al retiro del Agribon.

Agradecimientos.

A el programa de repatriación y retención del 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 la Costa de Hermosillo. Así mismo, deseamos agradecer al Ing. José Antonio Gándara Terrazas como productor cooperante por los apoyos para la realización de este experimento y a todos los estudiantes que participaron en el.

LITERATURA CITADA

- Anderson, C., Kustas, W.P., 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., 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., Smith M, 1998, Crop evapotranspiration- guidelines for computing crop water requirements- FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO, Rome, 339 pp.
- Doorenbos J., Pruitt E.O., 1977, Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 24, FAO, Rome, 144 pp.
- Garatuza-Payan J., W.J. Shuttleworth, D. Encinas, D. McNeil, J.B. Stewart, H. de Bruin y C. Watts, 1998, Measurement and modelling evaporation for irrigated crops in north-west Mexico, *Hydrol. Process.*, 12:1397-1418.
- Garatuza-Payan J., 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., 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., Jadoski S.O., 2004, Irrigation and mulching management for sweet pepper crop in protected environment, *Irriga Botucatu*, 9(3):217-224.
- Miranda F.R., Gondim R.S., Costa C.A.G., 2006, Evapotranspiration and crop coefficients for Tabasco pepper. *Agric. Water. Manag.*, 82:237-246.
- Rodríguez J.C., J. Grageda-Grageda, C. Watts, J. Garatuza-Payan, A. Valenzuela-Martínez, S. Moreno-Salazar y A. Ochoa-Meza, 2008, Evapotranspiración y coeficiente de cultivo en cultivares de uva de mesa en la Costa de Hermosillo, Sonora, México, XI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas, 23-24 Oct. Mexicali BC MX, 46-51.
- Samani, Z., Bawazir, A.S., Bleiweiss, M., Skaggs, R., Longworth, J., Tran, V.D., Pinon, A., Using remote sensing to evaluate the spatial variability of evapotranspiration and crop coefficient in the lower rio Grande Valley, New Mexico, *Irrigation Science*, DOI 10.1007/s00271-009-0178-8.
- Twine, T.E., Kustas, W.P., Norman, J.M., Cook, D.R., Houser, P.R., Meyers, T.P., Prueger, J.H., Starks, P.J., Wesely, M.L., 2000, Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland, *Agric. For. Meteorol.*, 103:279-300.
- Van Dijk, A., Kohsiek, W., De Bruin, H.A.R., 2002, Oxygen sensitivity of Krypton and Lyman- α hygrometers. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 20: 143-151.
- Watts C.J., Rodríguez J.C., Garatuza Payan J., de Bruin H.A.R., 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, o 45 - 53.
- Webb, E.K., Pearman, G.I., 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., Stage, S.A., 2001, Sonic anemometer tilt correction algorithms. *Boundary-Layer Meteorology* 99: 127-150.