

# Evapotranspiración del cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*) en la costa de Hermosillo, Sonora, México

## Evapotranspiration measurement in watermelon (*Citrullus lanatus*) on the Costa de Hermosillo, Sonora, Mexico

Leonardo Román Román<sup>1</sup>, Tomás Díaz Valdés<sup>1</sup>, Jesús Enrique López Avendaño<sup>1</sup>, Christopher Watts<sup>2</sup>, Fidencio Cruz Bautista<sup>2</sup>, Julio Rodríguez Casas<sup>2</sup> y Julio Cesar Rodríguez<sup>2‡</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa. Km 17.5, Carretera Culiacán-El Dorado. 80000 Culiacán, Sinaloa, México.

<sup>2</sup> Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora. Km 20.5 Carretera Hermosillo-Bahía Kino. 83000 Hermosillo, Sonora, México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (jcrodr@guayacan.uson.mx)

### RESUMEN

La sandía (*Citrullus lanatus*) es una hortaliza que para su manejo demanda una mayor necesidad de agua; sin embargo no existen estudios que muestren las cantidades utilizadas de agua con cierta precisión y menos que utilicen técnicas como la covarianza de vórtices para medir la evapotranspiración (ET), debido al alto costo de la instrumentación. El objetivo de este estudio fue medir la ET en sandía (*Citrullus lanatus*) para una región árida en la Costa de Hermosillo Sonora (29° 00' N y 111° 08' O). El experimento se llevó a cabo durante los meses de agosto a Noviembre de 2014. Se utilizó la técnica de covarianza de vórtices para medir ET y se empleó la ecuación Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>). El predio constaba de un sistema de riego por goteo, en el cual se aplicaron 166.1 mm de agua y tuvo una aportación por precipitación de 291.5 mm. La ET fue de 214.4 mm para todo el ciclo del cultivo, mientras que la ET<sub>o</sub> fue de 498.3 mm. Se observaron valores de K<sub>c</sub> de 0.15, 0.65 y 0.35 para etapa inicial, intermedia y final del cultivo respectivamente.

**Palabras claves:** *coeficiente de cultivo, covarianza de vórtices, región árida.*

### SUMMARY

Watermelon (*Citrullus lanatus*) is a fruit that demands a great amount of water. However, there are no studies that show precise quantities of water used nor are there studies that use techniques, such as

covariance of vortices, to measure evapotranspiration (ET) due to the high cost of instrumentation. The aim of this study was to estimate ET in watermelon in an arid region. The experiment was carried out on the coast of Hermosillo, Mexico (29° 00' north and 111° 08' west) during the months from August to November 2014. The Eddy Covariance technique was used to measure actual ET, and the Penman-Monteith equation was used to determine the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). The experimental plot consisted of a drip irrigation system where 166.1 mm were applied, and rainfall contributed 291.5 mm. The ET was 214.4 mm for the entire crop cycle, while ET<sub>o</sub> was 498.3 mm. K<sub>c</sub> values of 0.15, 0.65 and 0.35 were estimated for early stage, mid- and end of season respectively.

**Index words:** *coefficient of cultivation, covariance of vortices, arid region.*

### INTRODUCCIÓN

En la gestión de recursos hídricos uno de los problemas más urgentes a atender es la competencia por agua entre usuarios urbanos, industriales, agropecuarios y ecológicos, especialmente en las zonas áridas y semiáridas, donde la disponibilidad de este recurso es limitado y las necesidades incrementan de manera continua (Bittelli, 2010; Soulis *et al.*, 2015). A nivel global el agua utilizada por la agricultura es entre el 70 y 90%, con una eficiencia de uso de alrededor del 50% (Hamdy *et al.*, 2003; Berrittella *et al.*, 2007).

En México ocurre algo similar, la agricultura es el principal usuario del agua y consume alrededor

#### Cita recomendada:

Román Román, L., T. Díaz Valdés, J. E. López Avendaño, C. Watts, F. Cruz Bautista, J. Rodríguez Casas y J. C. Rodríguez. 2017. Evapotranspiración del cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*) en la costa de Hermosillo, Sonora, México. *Terra Latinoamericana* 35: 41-49.

Recibido: junio de 2016. Aceptado: noviembre de 2016.  
Publicado en *Terra Latinoamericana*: 35: 41-49.

del 77%, de la cual el 66% proviene de fuentes superficiales (CONAGUA, 2006). Sin embargo, este porcentaje varía de acuerdo a la región y, en el caso de la costa de Hermosillo Sonora ubicado en una región árida, el agua es escasa, la fuente para la agricultura es agua subterránea en un porcentaje superior al 90% (CONAGUA, 2013). La sandía (*Citrullus lanatus*), es una hortaliza importante para las zonas áridas y semiáridas en el mundo (Erdem y Yuksel, 2003; Shukla *et al.*, 2014). En México, los reportes de SAGARPA indican que se cosecharon 23 527 ha de diferentes tipos de sandía, con un rendimiento promedio de 27.24 Mg ha<sup>-1</sup>, de acuerdo a datos disponibles en el 2013 (SIAP, 2014). Los principales estados productores son Chihuahua, Jalisco y Sonora, que acumulan alrededor del 50% de la producción nacional y durante los últimos 10 años, el estado de Sonora ha incrementado su superficie de siembra de 3245 a 6806 ha, ocupando actualmente el primer lugar a nivel nacional (SIAP, 2014). La explotación del cultivo de sandía es importante en la región de la costa de Hermosillo por la mano de obra que genera y su rentabilidad; sin embargo, el problema de la escasez de agua hace prioritario encaminar esfuerzos hacia una mayor eficiencia en el aprovechamiento de este recurso, toda vez que las restricciones en su disponibilidad son cada vez mayores. Por lo anterior, existe la necesidad de generar información referente al uso eficiente del agua de riego que permita reducir la sobreexplotación de los mantos freáticos e incrementar la productividad agrícola.

Una forma de cuantificar la demanda de agua de los cultivos, producto de los cambios atmosféricos, es mediante la estimación o medición de la evapotranspiración (ET). Uno de los métodos más aceptados para estimar la evapotranspiración es el que depende de datos climáticos y se basa en fórmulas teórico-físicas (Allen *et al.*, 1989; 1998). Otro es el basado en flujos turbulentos de masas de aire verticales sobre las superficies, técnica conocida como varianza de vórtices (Baldocchi, 2003). El conocimiento de la evapotranspiración y coeficiente de cultivo (Kc) es fundamental para planificar y gestionar el riego de cualquier cultivo (Bastos *et al.*, 2012). Los principales factores que afectan la evapotranspiración son las variables climáticas, características del cultivo, factores del suelo y manejo (Allen *et al.*, 1998).

La medición de la evapotranspiración en hortalizas es poco común, especialmente en el cultivo de sandía,

debido a que el equipo que se utiliza para estimar o medir la ET es costoso. Sin embargo, esta hortaliza es uno de los cultivos que más volumen de agua necesita para su óptimo desarrollo por ello el interés y necesidad de conocer dicha demanda.

El objetivo de la presente investigación fue determinar la demanda hídrica del cultivo de sandía en la costa de Hermosillo, una zona árida, donde el agua utilizada es agua subterránea con un alto costo económico y energético para su extracción. Lo que brinda una oportunidad para mostrar al usuario la demanda real de agua del cultivo, lo que podría incrementar el uso eficiente y ahorro de agua, contribuyendo a mejorar la condición del acuífero sobreexplotado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El experimento se realizó en el predio el Águila, localizado geográficamente a 29° 00' N y 111° 08' O en la Costa de Hermosillo, (Figura 1). En esta región el clima es desértico, caracterizado por una precipitación media anual de 321 mm, evapotranspiración potencial de 2704 mm, temperatura media anual de 23.1 °C, con temperaturas extremas en inviernos y verano de -3.5 °C y 49 °C, respectivamente (CONAGUA, 2014).

### Sitio Experimental

El área experimental se localiza cerca de las márgenes del río Sonora, en suelos con características predominante francas, con 49.08% de arena, 32.12% de limo y 18.8% de arcilla; con una capacidad de campo (CC) 23.7%, punto de marchitez permanente (PMP) 2% y saturación (S) 40.8%, v/v. En ella se estableció el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*) mini triploide, variedad Extazy (Hazera Genetics), en una superficie de 60 ha. El cultivo se trasplantó en camas cubiertas con plástico de color negro, entre el 8 y 15 de agosto de 2014, con distancia entre cama de 2 m y una longitud de 150 m, con una densidad de 12 000 plantas por ha. La cosecha de los frutos inicio el 9 de octubre y finalizó el 4 de noviembre. El sistema de riego utilizado fue por goteo, con una distancia entre goteros de 0.40 m y un gasto de 1.29 lph; la frecuencia y las horas de aplicación del riego, fueron determinadas por el productor, de acuerdo a su experiencia en el manejo de la sandía.

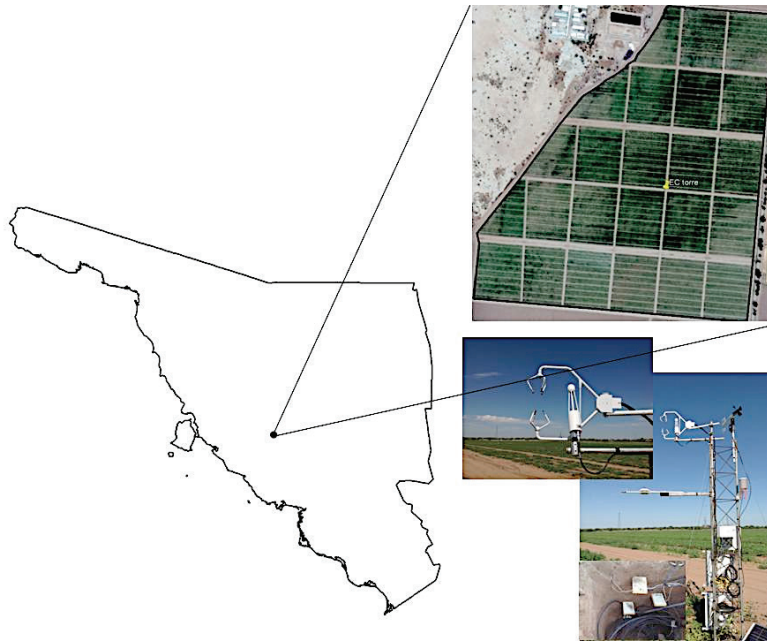


Figura 1. Área de estudio y equipo instalado, predio el Águila, Costa de Hermosillo, México.

La precipitación efectiva (PE), fue calculada utilizando la aproximación de Zierold modificada para México por Palacios (1971), cambiando el lapso de medición de decena a cada siete días.

### Mediciones Micrometeorológicas, Meteorológicas y Procesamiento de Datos

En el centro del sitio experimental sembrado con sandía fue instalada una torre con sensores para medir las componentes de la ecuación de balance de energía, como son la radiación neta ( $R_n$ ), flujo de calor latente (LE), flujo de calor sensible (H) y flujo de calor de suelo (G). Se hicieron otras mediciones meteorológicas como la temperatura y humedad en el aire, velocidad y dirección de vientos, precipitación, presión barométrica, radiación solar y albedo; y variable del como es la tensión, humedad y temperatura (Cuadro 1).

Previo a la instalación de la torre con sensores (instrumentación) se realizó un análisis de la incidencia de la dirección de vientos buscando que fuera en el mismo sentido en que quedaría colocado el anemómetro sónico y así minimizar la modificación de la velocidad por efectos mecánicos (Figura 2). Los flujos turbulentos (H y LE) fueron medidos con la técnica de covarianza de vórtices o Eddy Covariance (EC) (Baldocchi, 2003).

Todos los sensores fueron conectados a un sistema de adquisición de datos CR5000 (Campbell,

SCI), los datos colectados se almacenaron en una tarjeta Compact flashcard de 2 GB de capacidad. Las variables medidas por los sensores para determinar los flujos turbulentos fueron muestreados a 10 Hz y el resto de las variables medidas con los otros sensores se muestrearon a 0.1 Hz. Los datos crudos se procesaron con el programa EdyPro versión 4.1 (desarrollado por LICOR) para obtener promedios cada 30 min (Burba, 2013). Se realizaron correcciones y particiones necesarias de acuerdo a las recomendaciones de Burba (2013) usando el sitio:

[http://www.bgcjena.mpg.de/~MDIwork/eddyproc/output/20141205021959/results\\_ext.php](http://www.bgcjena.mpg.de/~MDIwork/eddyproc/output/20141205021959/results_ext.php).

Considerando que la falta de cierre en la ecuación de balance de energía fue del 10-20%, no fue necesario aplicar la corrección de la relación de Bowen sugerida (Twine *et al.*, 2000), para la obtención de los flujos turbulentos (Evapotranspiración, LE y calor sensible, H). Los datos meteorológicos y de suelo fueron promediados a 30 min. Ambas series de datos se analizaron para obtener valores diarios.

### Agua en el Suelo

Se instalaron sensores de humedad, tensión y temperatura de suelo para evaluar su comportamiento durante el ciclo del cultivo (Cuadro 1). También se muestreó el suelo para la determinación de la humedad

**Cuadro 1. Sensores instalados en sandía, predio el Águila, Costa de Hermosillo, México.**

Sensor	Variable	Altura de ubicación del sensor m
Radiómetro neto, (Kipp and Zonen)	Radiación neta (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )	2.00
Analizador gases LI7500 (LICOR)	Concentración de H <sub>2</sub> O y CO <sub>2</sub>	3.30
Anemómetro sónico, CSAT3	Velocidad de viento (x, y, z)	3.30
Albedómetro (Kipp and Zonen)	Radiación solar y albedo	2.00
Higrómetro, HMP50 (Vaisala)	Temperatura y humedad en aire	2.90
TDR CS616, (Campbell)	Humedad de suelo	- 0.10,-0.20, -0.30 y -0.60
Termómetro 107, Campbell)	Temperatura de suelo	- 0.10,-0.20, -0.30 y -0.60
SHP	Flujo de calor en el suelo	- 0.05 y -0.05
Tensiómetro (watermark)	Tensión del agua en el suelo	- 0.30 y -0.60
Anemómetro 5103(Young)	Velocidad y dirección de viento	3.40
Pluviómetro 525 (T. Electronics)	Lluvia	0.90
Adquisidor de datos CR5000		

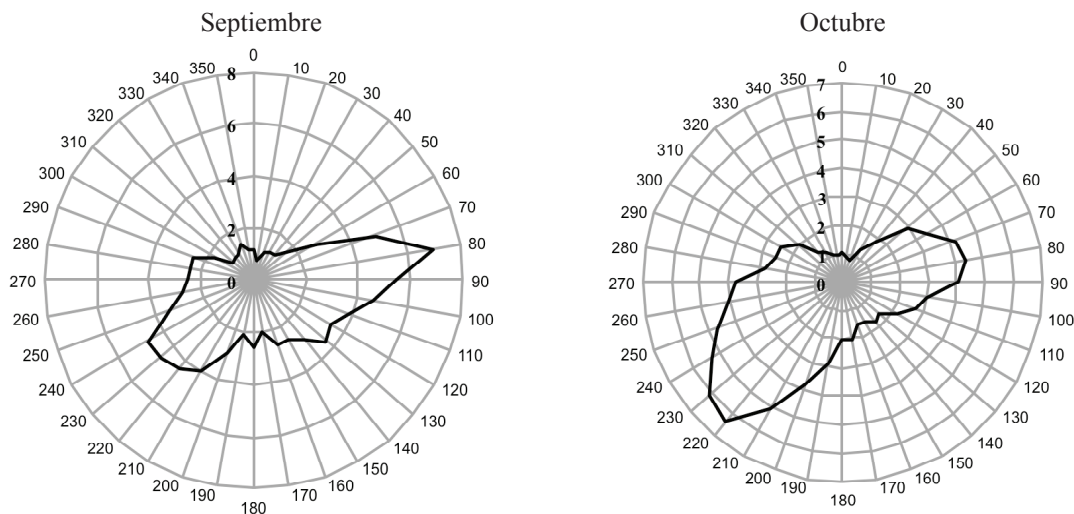
gravimétrica; y de esta manera, corregir los datos de los sensores de humedad, usando la densidad aparente con un valor de 1.5 g cm<sup>-3</sup>, previamente determinada en el sitio a la misma profundidad de colocación de los sensores. Al mismo tiempo fue obtenida la humedad volumétrica del suelo usando el sensor ML2 (Delta T), considerando que tiene un error del 1% (Delta T, 1999; Schmutz y Namikas, 2011). Para la obtención del contenido de agua en el suelo por gravimetría, se tomaron muestras de suelo en el bulbo de humedecimiento, y la determinación se hizo de acuerdo al método estándar, mediante el secado de la muestra a 105 °C por 24 h en horno de convección.

**Evapotranspiración y Coeficiente de Cultivo**

El cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>) se realizó usando la ecuación de Penman-Monteith modificada por Allen *et al.* (1998):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \tag{1}$$

donde: ET<sub>0</sub> evapotranspiración de referencia (mm día<sup>-1</sup>), R<sub>n</sub> radiación neta (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>), G flujo de calor del suelo (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>), T es la temperatura



**Figura 2. Rosa de vientos, Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora.**

del aire promedio diario ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\Delta$  pendiente de la curva de presión a saturación a T ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),  $\gamma$  constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),  $e_s$  presión de saturación del vapor a T ( $\text{kPa}$ ),  $e_a$  presión de vapor promedio diario ( $\text{kPa}$ ),  $u_2$  velocidad de viento promedio diario a 2 m de elevación ( $\text{m s}^{-1}$ ).

La determinación del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) se realizó con la ecuación de Doorenbos y Pruitt (1975):

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

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 ( $\text{mm día}^{-1}$ ).

No se realizó corrección por estrés hídrico ( $K_s$ ,  $K_s=1$ ) 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. Asimismo, por las dificultades técnicas para medir la transpiración y la evaporación por separado, se consideró el  $K_c$  como el cociente entre  $ET_c$  y  $ET_o$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variables Meteorológicas

La lluvia al inicio del ciclo fue de 195 mm, que representa en 67% del total de los 292 mm precipitados durante el ciclo del cultivo, lo que dificultó y retrasó

el periodo de trasplante y propició la aparición de malezas de hoja ancha. De este total de lluvia, la PE fue de 149 mm, teniendo su mayor impacto en la evaporación del suelo entre las semanas cinco y seis DDT. Durante el trasplante ocurrieron 3 de los 9 eventos con lluvia superior a 5 mm. En el caso de la temperatura del aire, esta presentó poca variación durante los primeros días después de trasplante debido a la importante presencia de precipitación y alta humedad relativa que se tuvo en el mes de agosto. A principios de septiembre la temperatura alcanzó sus máximos valores para posteriormente disminuir y presentar menores variaciones hasta finalizar el ciclo del cultivo. La humedad relativa presentó sus valores máximos durante y después de las lluvias, con valores superiores al 70%. Asimismo, los mínimos valores de esta variable se presentaron entre estos eventos, pero con tendencia a disminuir durante el resto del periodo, alcanzando valores inferiores al 40% en noviembre (Figura 3). La radiación solar (R. solar) tiende a decrecer desde la plantación hasta el fin de experimento, con una marcada disminución durante los días nublados, excepto cuando la precipitación fue vespertina o nocturna, como ocurre frecuentemente en la región de monzón mexicano (Douglas *et al.*, 1993).

### Riego, Humedad y Tensión del Agua en el Suelo

El monitoreo del contenido de la humedad de suelo ( $\theta_v$ ) inició a los 17 días después del trasplante (DDT). En la Figura 4 se observa que durante las dos primeras

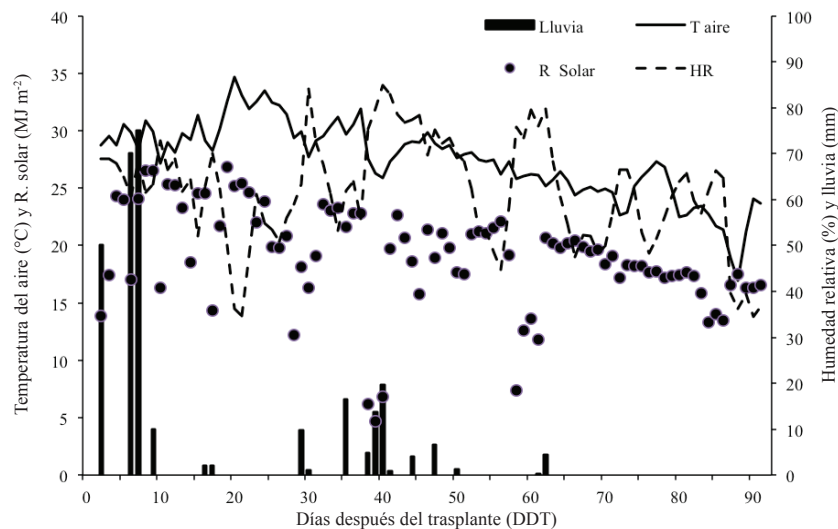


Figura 3. Comportamiento diario de temperatura, humedad relativa y precipitación durante el ciclo de cultivo de sandía, en 2014.



semanas después del trasplante no se aplicó agua debido al aporte por precipitación. También se observa que para el caso de la  $\theta_v$  a -30 cm, ésta se mantuvo por encima de la capacidad de campo (CC) la mayor parte del ciclo del cultivo de sandía; mientras que a -60 cm la  $\theta_v$  inició por debajo de CC, para incrementarse hasta  $0.24 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$  previo a la cosecha, la cual inició a los 60 DDT, para disminuir hasta valores cercanos a  $0.19 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$  al final del ciclo del cultivo. Estos valores de humedad del suelo son superiores a los observados por Ertek *et al.* (2006) para cucurbitáceas en suelo franco de características similares a este experimento. Durante la fase de desarrollo de frutos se observó una importante disminución en el contenido de humedad en el suelo, presentando valores de  $0.15 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$  a -30 cm y de  $0.17 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$  a -60 cm; los cuales están cerca del 50% de la humedad aprovechable (HA). González *et al.* (2009), mencionan que una práctica común entre los productores, es reducir el volumen de agua previo a la cosecha y en otras etapas fenológicas; sin embargo, Erdem y Yuksel (2003), mencionan que una reducción en el volumen de agua aplicada, principalmente en las etapas sensible reduce el rendimiento de la sandía. Miller *et al.* (2013, 2014) y Shulka *et al.* (2014) mostraron que con reducciones de la HA en un 15% y 33% obtuvieron los máximos rendimientos y en algunos casos hasta el 44% mayor que las reducciones de 50% en la HA. Previo a la cosecha la tensión de agua (Y) a -30 cm fue de -10 kPa, y a -30 kPa a -60 cm

de profundidad (Figura 4), tensiones que no producen estrés a la planta. Sin embargo, posterior a la primera cosecha la tensión comenzó a disminuir presentado dos eventos a -62 y -67 kPa (Figura 4) que pueden producir estrés. Estos valores en general se observan entre -30 y -10 kPa, los cuales son recomendables para sandía y valores hasta de -75 kPa producen disminución en la biomasa y el rendimiento (González *et al.*, 2009; Bastos *et al.*, 2012).

### Evapotranspiración Actual, Evapotranspiración de Referencia y Coeficiente de Cultivo

La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), presentó valores entre los 8 y 10 mm día<sup>-1</sup> al inicio del ciclo, pero disminuyó a principios de noviembre con valores cercanos a los 3 mm día<sup>-1</sup> (Figura 5). Estos valores son similares a los observados por Rodríguez *et al.* (2010), los cuales son comunes en las zonas áridas calientes. Los decrementos ocurridos durante el periodo de estudio son ocasionados por días nublados o lluvias. La medición de la evapotranspiración (ET) inició al igual que otras mediciones dos semanas después del trasplante. La ET presenta valores de 1 mm día<sup>-1</sup> al inicio de las mediciones, similares a los obtenidos por Bastos *et al.* (2012) en etapas iniciales de desarrollo, para incrementarse hasta valores de 5.1 y 5 mm día<sup>-1</sup>, después de importantes eventos de lluvia, terminando el ciclo con valores superiores a 1 mm día<sup>-1</sup> (Figura 5).

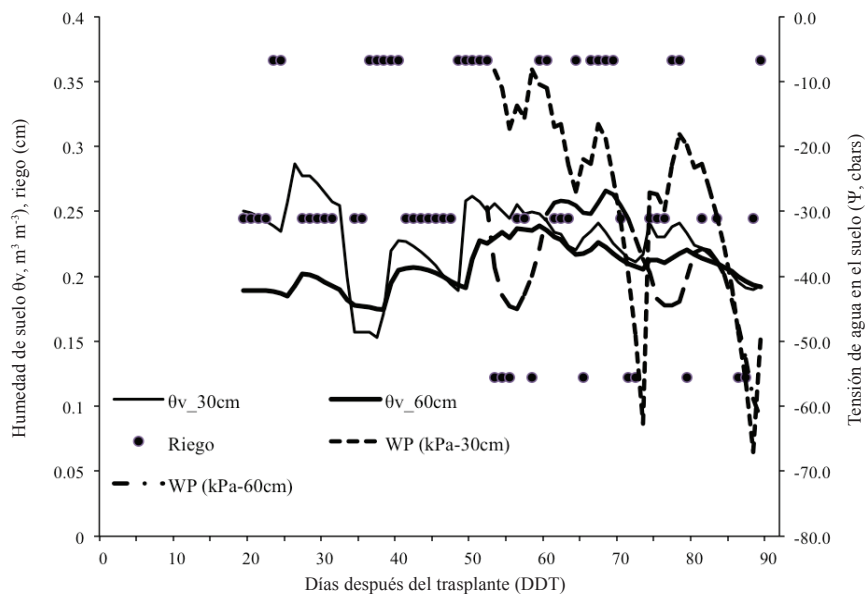
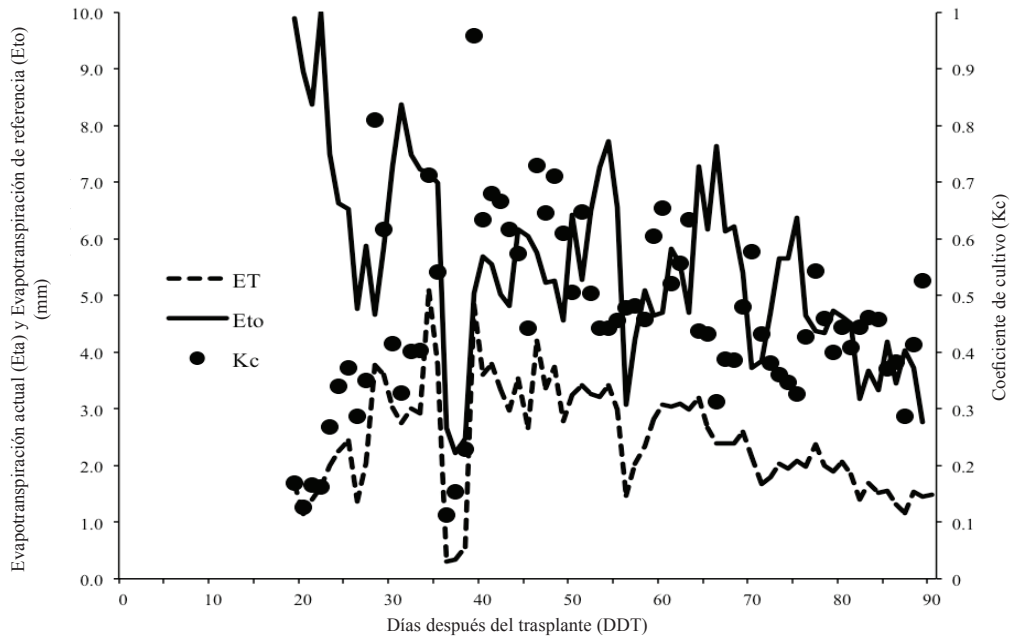


Figura 4. Dinámica de la humedad, tensión en el suelo y riego, en el cultivo de sandía, en 2014.



**Figura 5. Comportamiento de la evapotranspiración actual (ET), evapotranspiración de referencia (ETo) y coeficiente de cultivo (Kc) para la sandía, en 2014.**

Respecto a los valores del coeficiente de cultivo (Kc), a pesar de la existencia de pocos datos en su inicio, se observaron valores entre 0.10 y 0.20, los cuales son similares a los obtenidos por Miranda *et al.* (2004) y Bastos *et al.* (2012), pero después se incrementó hasta alrededor de 0.60 durante la etapa de desarrollo que se presenta entre los 20 a 40 DDT (Figura 5). Posteriormente durante la etapa intermedia (40-60, DDT) los valores varían entre 0.60 y 0.70, inferiores a los obtenidos por Miranda *et al.* (2004), Orgaz *et al.* (2005) y Bastos *et al.* (2012) que obtuvieron valores superiores a 1. Esta variación se puede atribuir al tipo de variedad cultivada, cobertura y estación del año. La etapa final fue considerada de 60 a 90 DDT, donde se observa el decremento del Kc, hasta llegar a valores entre 0.3 y 0.40, los cuales son similares a los reportados por Bastos *et al.* (2012). Estos valores bajos de Kc pueden explicarse por la baja cobertura, siendo de alrededor del 50% durante la etapa de desarrollo intermedio del cultivo. Asimismo, se observa que los cambios en la humedad y tensión en el suelo (Figura 4 y 5), tienen un importante efecto en el Kc, como sucede entre los DDT 30 y 40, y 70 y 80 respectivamente, lo que implica un estrés para el cultivo.

El registro semanal del riego, la lluvia, ET, ETo y Kc se muestran en el Cuadro 2. En este cuadro se observa que la ETo total fue de 498 mm durante el periodo de 90 días, la cual es inferior a la estimada en el 2004 por

Shulka *et al.* (2014), la cual fue de 384 mm, ya que en este periodo ocurrió una importante precipitación en la región. La ET fue 214 mm para el ciclo de 90 días valor inferior al observado en el 2004 por Shulka

**Cuadro 2. Resumen semanal de lluvia, riego, evapotranspiración actual (ETa), evapotranspiración de referencia (ETo) y coeficiente de cultivo (Kc), Días Después del Trasplante (DDT) de sandía.**

DDT	Semana	Lluvia	Riego	ETa	ETo	Kc
----- mm -----						
0-4	0	50.0	0	-	-	-
5-11	1	155.0	0	16.44	43.21	-
12-18	2	4.0	0	15.69	37.78	-
19-25	3	0.0	17.10	10.09	60.03	0.16
26-32	4	10.7	12.22	19.00	43.32	0.44
33-39	5	54.6	15.88	16.02	36.20	0.44
40-46	6	11.4	19.55	24.77	38.36	0.65
47-53	7	1.3	23.21	24.03	38.98	0.62
54-60	8	0.3	13.44	18.25	38.57	0.47
61-67	9	4.3	19.55	20.42	41.88	0.49
68-74	10	0.0	15.88	15.01	35.67	0.42
75-81	11	0.0	15.88	14.34	34.73	0.41
82-88	12	0.0	7.33	10.49	26.34	0.40
89-95	13	0.0	6.11	9.83	23.21	0.42
Suma		291.5	166.1	214.40	498.30	

*et al.* (2014) para un ciclo de 83 días, la cual fue de 245 mm; así como a la observada por Bastos *et al.* (2012) de 234 para un periodo de 65 días. En el mismo cuadro se observa que la máxima ET ocurre durante la etapa fenológica intermedia, cuando ocurre el máximo Kc, la máxima transpiración, ya que se observa una disminución de la humedad del suelo a -30 y -60 cm (Figura 4) sin una disminución del riego y la presencia de lluvia (Figura 3).

### CONCLUSIONES

- Las hortalizas son cultivos que por lo general requieren tener frecuentemente alta humedad en el suelo, esto ha ocasionado recurrentemente la presencia de enfermedades por hongos y requiere determinarse su requerimientos de agua de manera adecuada sin comprometer el rendimiento. Una de técnicas más aceptadas para determinar la evapotranspiración del cultivo, es la covarianza de vórtices y fue utilizada durante el ciclo del cultivo de sandía.

- Durante este experimento se observó que la evapotranspiración actual (ETa) medida durante el cultivo, fue inferior respecto a los valores reportados en otras investigaciones, misma que puede atribuirse a la variedad cultivada, lo cual implica que tuvo una menor demanda atmosférica por su baja cobertura vegetal. Por otro lado, la humedad de suelo durante la mayor parte del cultivo, estuvo por arriba de la capacidad de campo, lo que implicó un exceso de aplicación de agua mediante el riego magnificado por la presencia de lluvias al inicio del ciclo.

- La sandía presentó un coeficiente de cultivo (Kc) menor comparado con otras investigaciones para condiciones climáticas y tipos de suelo similares a este estudio.

- Se considera que los productores de sandía y otras cucurbitáceas deben tener una mejor estrategia para decidir la frecuencia y las horas de riego, para así hacer un mejor uso de su volumen de agua concesionada, reducir sus costos por bombeo, disminuir el riesgo a enfermedades por hongos, mejorar su rendimientos y contribuir a la salud del acuífero. La sandía puede recibir un poco de estrés hídrico durante sus primeras etapas fenológicas, pero no durante la floración, ya que reduce su rendimiento, así que una estrategia del productor para ahorrar agua puede centrarse en esta parte del ciclo del cultivo y mantener óptimo el nivel de agua en el suelo.

### LITERATURA CITADA

- Allen, R. G., M. E. Jensen, J. L. Wright, and R. D. Burman. 1989. Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agron. J.* 81: 650-662.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper N° 56. Rome, Italy.
- Baldocchi, D. D. 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: Past, present and future. *Global Change Biol.* 9: 479-492.
- Berrittella, M., A. Y. Hoekstra, K. Rehdanz, Roberto Roson, R. S. J. Tol. 2007. The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis. *Water Res.* 41: 1799-1813.
- Bastos, A. E., C. R. Silva, B. H. N. Rodrigues, S. Andrade Jr., and L. M. M. Ibiapina. 2012. Evapotranspiration and crop coefficient of drip irrigated watermelon in Piauí coastline, Brazil. *Eng. Agric.* 32: 582-590.
- Bittelli, M. 2010. Measuring soil water potential for water management in agriculture: A review. *Sustainability* 2: 1226-1251.
- Burba, G. 2013. Eddy covariance method for scientific, industrial, agricultural, and regulatory applications. A field book on measuring ecosystem gas exchange and areal emission rates. LI-COR Biosciences. Lincoln, NE, USA.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2006. Estadísticas del agua en México, edición 2006. Sistema Nacional de Información sobre cantidad, calidad, usos y conservación del agua (SINA). México D. F. ISBN 968-817-758-X
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2013. Estadísticas del agua en México, edición 2013. SEMARNAT-CONAGUA. México, D. F.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2014. Estadísticas del agua en México, edición 2014. SEMARNAT-CONAGUA. México, D. F.
- Delta\_T Devices LTD. 1999. *ThetaProbe* SOIL MOISTURE. Manual Sensor. Delta\_T\_UK.
- Doorenbos, J. and W. O. Pruitt. 1975. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and drainage paper 24. FAO. Rome, Italy.
- Douglas, M. W., R. A. Maddox, and K. Howard. 1993. The Mexican monsoon. *J. Clim.* 6: 1665-1677.
- Erdem, Y. and A. N. Yuksel. 2003. Yield response of watermelon to irrigation shortage. *Sci. Hortic.* 98: 365-383.
- Ertek A., S. Sensoy, I. Gedik, and C. Kucukyumuk. 2006. Irrigation scheduling based on pan evaporation values for cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under field conditions. *Agric. Water Manage.* 81: 159-172.
- González, A. M., S. Bonachela, and M. D. Fernández. 2009. Regulated deficit irrigation in green bean and watermelon greenhouse crops. *Sci. Hortic.* 122: 527-531.
- Hamdy, A., R. Ragab, and E. Scarascia-Mugnozza. 2003. Coping with water scarcity: Water saving and increasing water productivity. *Irrig. Drain.* 52: 3-20.
- Miller, G., A. Khalilian, J. W. Adelberg, H. J. Farahani, R. L. Hassell, and C. E. Wells. 2013. Grafted watermelon root length density and distribution under different soil moisture treatments. *HortScience* 48: 1021-1026.



- Miller, G. A., H. J. Farahani, R. L. Hassell, A. Khalilian, J. W. Adelberg, and C. E. Wells. 2014. Field evaluation and performance of capacitance probes for automated drip irrigation of watermelons. *Agric. Water Manage.* 131: 124-134
- Miranda, F. R., J. J. Gonçalves O. e F. Souza. 2004. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultivo para a cultura da melancia irrigada por gotejamento. *Rev. Cienc. Agron.* 35: 36-43.
- Orgaz, F., M. D. Fernández, S. Bonachela, M. Gallardo, and E. Fereres. 2005. Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse. *Agric. Water Manage.* 72: 81-96.
- Rodríguez, J. C., J. Grageda, C. J. Watts, J. Garatuza-Payan, A. Castellanos-Villegas, J. Rodríguez-Casas, J. Saiz-Hernández, and V. Olavarrieta. 2010. Water use by perennial crops on the lower Sonora watershed. *J. Arid Environ.* 74: 603-610.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. Producción agrícola. México. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx); <http://infosiap.siap.gob.mx/> (Consulta: agosto 28, 2014).
- Shukla, S., N. K. Shrestha, F. H. Jaber, S. Srivastava, T. A. Obreza, and B. J. Boman. 2014. Evapotranspiration and crop coefficient for watermelon grown under plastic mulched conditions in sub-tropical Florida. *Agric. Water Manage.* 132: 1-9.
- Schmutz, P. P. and S. L. Namikas. 2011. Utility of the Delta-T theta probe for obtaining surface moisture measurements from beaches. *J. Coastal Res.* 27: 478-484.
- Soulis, K. X., S. Elmaloglou, and N. Dercas. 2015. Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems. *Agric. Water Manage.* 148: 258-268.
- Twine, T. E., W. P. Kustas, J. M. Norman, D. R. Cook, P. R. Houser, T. P. Meyers, J. H. Prueger, P. J. Starks, and M. L. Wesely. 2000. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. *Agric. For. Meteorol.* 103: 279-300.