

Consumo de agua de tomate en invernadero en función del número de tallos

Jesús del Rosario Ruelas-Islas¹

Juan Enrique Rubiños-Panta²

Luis Alberto Peinado-Fuentes³

Cándido Mendoza-Pérez^{2§}

Antonio Martínez-Ruiz⁴

Isabel Escobosa-García⁵

¹Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte-Universidad Autónoma de Sinaloa. Calle 16 S/N, Av. Japaraqui, Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa. CP. 81110. Tel. 687 1387525. (chuyitaruelas@favf.mx).

²Hidrociencias-Colegio de Posgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 595 9520200. ³Campo Experimental Valle del Fuerte-INIFAP. Carretera Internacional México-Nogales km 1609, Juan José Ríos, Sinaloa. CP. 81110. Tel. 55 38718700, ext. 81501.

(peinado.luis@inifap.gob.mx). ⁴Campo Experimental San Martinito-INIFAP. Carretera Federal México-Puebla km 56.5, Santa Rita, Tlahuapan, Puebla. CP. 74100. Tel. 55 38718700. (mara2883@hotmail.com).

⁵Instituto de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma de Baja California. Carretera a Delta s/n, ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California. CP. 21705. Tel. 686 1936913. (isabel.escobosa@uabc.edu.mx).

§Autor para correspondencia: mendoza.candido@colpos.mx.

Resumen

La poca disponibilidad de agua observada en las presas del país y la sobreexplotación de los acuíferos subterráneos hacen urgente nuevas estrategias para optimizar este recurso. Una estrategia es la optimización del riego mediante el cálculo de las necesidades hídricas para la programación de riegos. El objetivo del este estudio fue analizar la relación entre la evapotranspiración de cultivo (ETc) y coeficiente del cultivo (Kc) en el cultivo del tomate en función del número de tallos, para el suministro el agua de riego a partir de un lisímetro de drenaje y el atmómetro. El trabajo se realizó en condiciones controladas usando tezontle como sustrato y un sistema de riego por goteo. El experimento consistió en tres tratamientos, uno (T1), dos (T2) y tres (T3) tallos por planta. Se utilizó el método del lisímetro de drenaje para medir la transpiración diaria de cultivo (ETc) y un atmómetro para estimar la evapotranspiración de referencia (ETo). La transpiración acumulada del cultivo fue de 352, 389 y 434 mm para T1, T2 y T3 y un kc de 1.06, 1.16 y 1.32 para los mismos tratamientos respectivamente, así como el requerimiento de riego de 1.04, 1.14 y 1.29 L planta⁻¹, ambos parámetros determinados en la etapa de máxima demanda hídrica y nutrimental. Se concluye que las mediciones diarias de transpiración en tomate con el lisímetro de drenaje permiten calcular el requerimiento hídrico de los cultivos, además, el atmómetro es una alternativa para estimar la ETo con fines de calendarización del riego en diferentes cultivos.

Palabras clave: agricultura protegida, coeficiente de cultivo, índice de área foliar, riego.

Recibido: marzo de 2022

Aceptado: mayo de 2022

Introducción

La poca disponibilidad de agua que se observa en algunas presas de la República Mexicana en los últimos años y la sobreexplotación de los acuíferos subterráneos hacen urgente el establecimiento de estrategias para hacer uso racional y eficiente de este recurso (López *et al.*, 2010). La programación del riego es un proceso de decisión orientado a determinar la cantidad de agua por aplicar y el momento de riego para minimizar deficiencias o excesos de humedad en el suelo que pudieran causar efectos adversos en el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos. La programación de los riegos normalmente se realiza considerando los días después de la siembra y trasplante o la experiencia del productor (López *et al.*, 2010).

La evapotranspiración es la suma del agua que se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y la que se pierde mediante la transpiración de la planta (Vera *et al.*, 2014) y para estimarlo se considera el cultivo y las condiciones ambientales. La evapotranspiración de referencia (ET_o) representa la demanda meteorológica y el coeficiente del cultivo (K_c) representa la habilidad de las plantas y del suelo para satisfacer esa demanda (Jensen y Wright, 1978). La relación de la evaporación y transpiración en un cultivo varía según las etapas de desarrollo y crecimiento de este, siendo el requerimiento hídrico y la tasa de transpiración diferentes para cada cultivo, mismas que dependen de condiciones climáticas (Vera *et al.*, 2014).

Otra forma para estimar la evapotranspiración de los cultivos cultivados en condiciones de invernadero es el uso de los modelos de simulación. López-Cruz *et al.* (2017) recomiendan el uso de los modelos VegSyst y mod-VegSyst para predecir la materia seca, la absorción de nitrógeno y la transpiración del cultivo de tomates cultivado en invernadero. Martínez Ruiz *et al.* (2019) desarrollaron un modelo de tiempo discreto (HortSyst) para describir la dinámica del tiempo fototérmico (PTI), la producción total de materia seca (DMP), la absorción de N (N up), el índice de área foliar (LAI) y la evapotranspiración (ET_c) para cultivos de invernadero.

El coeficiente de cultivo depende de las características propias de cada cultivo, por lo tanto, es específicos para cada uno y depende de la etapa fenológica. También depende de las características del suelo, la humedad, prácticas agrícolas y el riego. Los valores de K_c son bajos en etapa inicial y aumentan a medida que la planta cubre más el suelo (Fernández *et al.*, 2012). Para calcular la evapotranspiración del cultivo es necesario identificar las etapas de crecimiento, la duración de estas y seleccionar el K_c correspondiente para cada etapa.

El uso de atmómetros puede ser una herramienta viable para estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o) (Mendoza-Pérez *et al.*, 2019), pero a su vez se requiere de apropiada calibración, validación local, así como buena operación y mantenimiento, todos estos componentes representan una alternativa confiable para calendarización de riego en los cultivos agrícolas ya sea en campo abierto o bajo condiciones de invernadero. El objetivo del este estudio fue analizar la relación entre la evapotranspiración de cultivo (ET_c) y coeficiente del cultivo (K_c) en el cultivo del tomate en función del número de tallos, para el suministro el agua de riego a partir de un lisímetro de drenaje y el atmómetro.

Materiales y métodos

Sitio experimental

El trabajo se estableció en un invernadero cenital bajo un sistema hidropónico en sustrato localizado, el cual se encuentra dentro del departamento de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo, Estado de México, (19.46° de latitud norte y 98.90° longitud oeste a 2 244 m de altitud). El invernadero consiste en tres naves con estructuras de metal y cubiertas de plástico de polietileno de alta densidad, con 75% de transmisividad, equipado con un sistema de ventilación cenital y provista con una malla anti-insecto en las paredes laterales.

Material cultivado y marco de plantación

Para el experimento se utilizaron semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tipo Saladette del cultivar Cid F1 de crecimiento indeterminado. Las semillas se sembraron el 5 de marzo en charolas germinadoras de 200 celdas, se trasplantaron el 20 de abril de 2018. El material se cultivó en invernadero en un sistema hidropónico en bolsas de polietileno negro (10 L) con tezontle rojo como sustrato. La plantación fue en un arreglo de tresbolillo, con separación de 40 cm entre plantas a doble hilera de 20 m de largo a 40 cm entre líneas, con densidad de plantación en ambos de 3 plantas m⁻². Cada ocho días se realizaron podas de brotes laterales con tijera de poda T-67 para mantener la planta a uno, dos y tres tallos, en el décimo racimo se realizó el despunte.

Establecimiento de los tratamientos

Los tratamientos se establecieron en función del número de tallos por planta: a uno (T1) se dejó únicamente el tallo principal, a dos (T2) se dejó el tallo principal y un tallo secundario y a tres tallos por planta (T3) se dejó el tallo principal y dos secundarios. Cada unidad experimental fue de 6 m² con 18 plantas, con cuatro repeticiones por tratamiento, con una superficie total de 159 m² por tratamiento, bajo un diseño experimental completamente al azar.

Sistema de riego

Se instaló sistema de riego por goteo, con una línea regante superficial de 16 mm de diámetro con goteros autocompensados separados a 40 cm y una presión de operación de 68.64 kPa. Se aplicó la solución nutritiva tipo Steiner (1984) con un potencial osmótico de -0.087 MPa y un pH de 6.5 durante todo el ciclo del cultivo.

Propiedades físicas del sustrato

Se determinaron las propiedades físicas del tezontle con el método gravimétrico, el cual consistió en tomar cinco muestras de tezontle rojo con un volumen definido para secar en la estufa de la marca Tecnal-TE-395 a una temperatura de 105 °C durante 24 h, posteriormente se determinó el peso seco, después se saturó el sustrato con agua y finalmente se drenó durante 24 h. Se obtuvieron los siguientes valores de las propiedades evaluadas: capacidad de retención de humedad=1.7 L, densidad aparente= 1.04 g cm⁻³, porosidad total= 41%, aireación= 59%, capacidad de campo= 18%, punto de marchitez permanente= 9%.

Medición de transpiración del cultivo

Para medir la transpiración del cultivo se utilizaron macetas de control con 10 kg de tezontle y una capacidad de retención de agua $0.17 \text{ L planta}^{-1}$. En cada tratamiento se instalaron cuatro repeticiones de macetas control y se cubrieron con un plástico de color blanco en la superficie de la maceta con la finalidad de despreciar los valores de evaporación del sustrato. En estas macetas se aplicó un volumen conocido de solución nutritiva a partir de las 9:00 am que se dejó drenar durante 1 h, posteriormente se midió la solución nutritiva drenada y por diferencia (volumen aplicado menos el volumen drenado) se obtuvo el volumen transpirado por planta (Figura 1). Este procedimiento se repitió diariamente a partir de las 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 17:00 h con un total de cinco mediciones diarias desde el trasplante hasta la cosecha del décimo racimo (Figura 2).

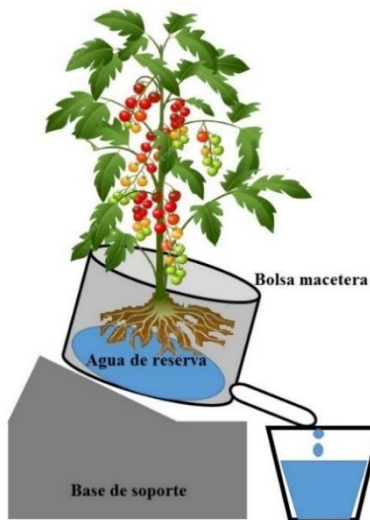


Figura 1. Medición de evapotranspiración en macetas control en invernadero.

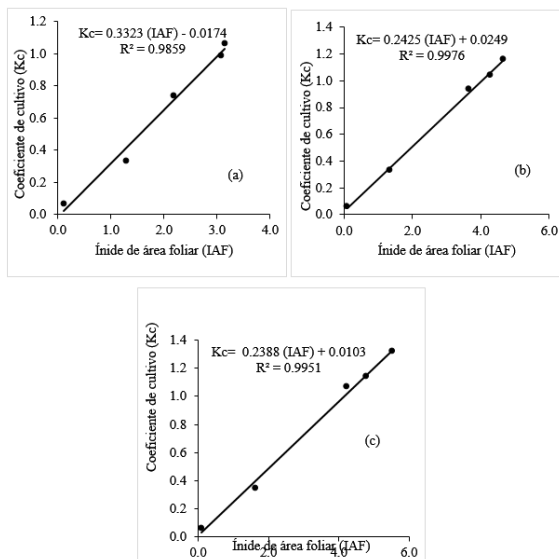


Figura 2. Coeficiente de cultivo en tomate en función del índice de área foliar para T1 (a); T2 (b); y T3 (c).

La evapotranspiración diaria del cultivo es igual a la diferencia entre la cantidad de agua aplicada y drenada, que se calculó con la ecuación 1; $ET_c = R - D$ (1). Donde: ET_c = evapotranspiración diaria del cultivo; R = volumen de riego aplicado (L); D = volumen agua drenada (L).

Evapotranspiración de referencia (ET_0) medida con atmómetro

Para estimar la evapotranspiración de referencia se instaló un atmómetro modelo A ETogage (Loveland, Colorado, EE. UU) en el invernadero. Este equipo se ubicó a 1.2 m de altura y la cantidad de agua evaporada en 24 h previas se midió manualmente a las 8:00 am, mediante un tubo de cristal con una escala graduada montado en la parte exterior del equipo (Figura 3). La lámina de agua evaporada se estimó por el cambio en dos niveles de agua de dos lecturas consecutivas. El periodo en la toma de datos fue desde el 24 de abril de 2018 al 29 de septiembre de 2018.



Figura 3. Instalación del atmómetro en el interior de invernadero.

Descripción del atmómetro

El atmómetro consiste en un plato poroso de cerámica conectado internamente con una manguera a un reservorio cilíndrico de agua destilada. Este aparato simula la resistencia de difusión del vapor de agua de la superficie porosa evaporante. Usualmente se coloca una membrana de politetrafluoroetileno sobre el plato para prevenir la entrada de agua a través de este (Mendoza-Pérez *et al.*, 2019). Además, tiene dos alambres rígidos de acero inoxidable de dos pulgadas en la parte superior para evitar que las aves se posen sobre el medidor (Figura 3). El modelo dispone de un depósito de agua de 300 mm, fabricado en PVC blanco para reflejar la radiación solar y evitar la transmisión de calor al agua que está almacenada en su interior.

Necesidades de riego del cultivo

Las necesidades hídricas del cultivo de tomate se calcularon a partir de los valores de ET_0 obtenidos del atmómetro y el coeficiente del cultivo (K_c) obtenidos de la relación ET_c/ET_0 mediante la ecuación 2. $ET_c = ET_0 * K_c$ (2). ET_c = evapotranspiración del cultivo o demanda hídrica neta del cultivo (mm día^{-1}); ET_0 = evapotranspiración de referencia (mm día^{-1}); K_c = coeficiente de cultivo. Los valores acumulados para n días transcurridos se expresa con la siguiente relación. $ET_{c\text{acumulado}} = \sum_{i=1}^n ET_c$. Donde: i es el número de días transcurridos a partir de la de fecha de trasplante; ET_c es la evapotranspiración de referencia diaria del cultivo de tomate.

Requerimiento de riego por maceta

El requerimiento de riego se estimó a partir de los valores de evapotranspiración del cultivo o la necesidad de riego (ETc) y la densidad de siembra, con la ecuación 3. $RR = \frac{ETc}{DS}$ (3). RR= requerimiento de riego (L día⁻¹ planta⁻¹); ETc= demanda hídrica neta del cultivo (mm día⁻¹); DS= densidad de siembra (número de plantas ha⁻¹).

Coefficiente del cultivo

El coeficiente de cultivo por etapa fenológica se estimó a partir de los valores de evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración de referencia del atmómetro mediante la ecuación 4. $Kc = \frac{ETc}{ETo}$ (4). Kc= coeficiente de cultivo; ETc= evapotranspiración o transpiración del cultivo; ETo= evapotranspiración de referencia.

Área foliar

Se realizaron mediciones de área foliar con el método destructivo que consistió en extraer la planta de la maceta, después separar las hojas y medir el área foliar con un medidor electrónico (área meter modelo LI-3100, Decagon Device, Inc). Se realizaron en cuatro repeticiones de cada tratamiento. Finalmente, se calculó el índice de área foliar (IAF) de la planta con la ecuación 5, descrita por (Reis *et al.*, 2013). $IAF = \frac{AF \times NP}{AT}$ (5). Donde: el IAF se encuentra en m² m⁻²; AF es la superficie media de hoja de tres plantas (m²); NP es el número de plantas por m² y AT es el área considerada total de (1 m²).

Rendimiento

Para determinar el rendimiento de fruto, primero se seleccionaron ocho plantas por tratamiento, después se cosecharon los frutos conforme iban madurando en cada racimo de la planta y por último pesaron en una báscula digital modelo 5 000 p con una resolución de 0.001g.

Análisis estadístico

Para determinar diferencias significativas de las variables, se realizó una prueba de comparación de medias empleando la prueba de Tukey con $p \leq 0.05$, con el paquete estadístico Minitab.

Resultados y discusión

Tratamiento a un tallo por planta (T1)

Los valores acumulados de evapotranspiración de referencia (ETo) medidos con el atmómetro fueron de 76.8, 103.8, 87.3, 156.2 y 82.4 mm en la etapa inicial, desarrollo vegetativo, inicio de fructificación, inicio de madurez y fin de cultivo respectivamente (Cuadro 1). Para los valores acumulados de ETc medidos con el lisímetro de drenaje fueron de 4.5, 34.6, 86.7, 165.5 y 60.6 mm en las mismas etapas respectivamente. En ese sentido, Rodríguez y Pire (2008) reportaron valores de evapotranspiración real diaria (ETr) de 2.95 mm día⁻¹ en la etapa inicial y 7.3 mm día⁻¹ en la fase de fructificación.

Cuadro 1. Valores de ETc, ETo, Kc y requerimiento de riego para el (T1).

DDT	Etapa fenológica	Duración	ETc	ETo	kc	RR
16	Inicial	16	4.5	76.8	0.06	0.094
42	Desarrollo vegetativo	25	34.6	103.8	0.33	0.462
72	Inicio de fructificación	31	86.7	87.3	0.99	0.932
125	Inicio de madurez	53	165.5	156.2	1.06	1.041
154	fin de cultivo	29	60.6	82.4	0.74	0.697
	Sumatoria total	154	351.9	506.5		

DDT= días después de trasplante; ETc= evapotranspiración acumulada del cultivo por etapa (mm); ETo= evapotranspiración de referencia acumulada por etapa (mm); Kc= coeficiente de cultivo; RR= requerimiento de riego (L planta⁻¹ día⁻¹).

Por otra parte (Flores *et al.*, 2007) encontraron una relación directa entre la transpiración del cultivo de tomate y la radiación global que llega al follaje en el interior del invernadero. Los mismos autores encontraron que la tasa evapotranspirativa fue de 58 L h⁻¹ alrededor de las 14:00 h del día. Finalmente, Martínez-Ruiz *et al.* (2019) reportaron valores similares de ETc en el cultivo de tomate estimado con el modelo HortSyst.

Los valores de Kc obtenidos para este cultivo fueron de 0.06, 0.33, 0.99, 1.06 y 0.75 en las mismas etapas (Cuadro 1). Estos datos son similares a los obtenidos por (Zamora *et al.*, 2014) en el cultivo de tomate HC 3880 con Kc medio de 1.18. Por otro lado, (Cerekovic *et al.*, 2010) obtuvieron valores de Kc inicial 0.4, Kc 1.18 en etapa media y Kc de 0.7 en madurez en tomate cultivado en condiciones de clima mediterráneo. Para este estudio, el requerimiento de riego fue de 0.09, 0.46, 0.93, 1.04 y 0.69 L planta⁻¹ día⁻¹ respectivamente (Cuadro 1). No obstante, Flores *et al.* (2007) reportaron valores de requerimiento de riego de 0.55, 0.57, 0.92, 1 y 0.81 L planta⁻¹ día⁻¹ en las mismas etapas.

Tratamiento a dos tallos por planta (T2)

Los valores acumulados de ETo obtenidos por el atmómetro fueron de 76.8, 103.8, 87.3, 156.2 y 82.4 mm; para la ETc medidos con el lisímetro de drenaje fueron de 4.4, 34.3, 91, 181.5 y 77.3 mm; los valores de Kc fueron de 0.06, 0.33, 1.04, 1.16 y 0.94 en las en las mismas etapas fenológicas respectivamente (Cuadro 2). El requerimiento de riego fue de 0.09, 0.45, 0.97, 1.14 y 0.88 L planta⁻¹ día⁻¹ en las etapas anteriormente mencionadas. Rodríguez-Cabell *et al.* (2020) en su trabajo de investigación reportaron que en el tratamiento donde aplicaron 1.12 L planta⁻¹ día⁻¹, la planta mostro mejor respuesta fisiológica, productiva y de mejora calidad en tamaño de frutos.

Soto (2018) encontró valores de ETc 1.9 a 2.3 L planta⁻¹ día⁻¹ en tomate Cherry del cultivar Súper Suncherry, de crecimiento indeterminado cultivado en invernadero y reporta que a medida que se incrementa la radiación fotosintéticamente activa se incrementa la evapotranspiración del cultivo; por lo tanto, las condiciones ambientales con variables muy importantes para el desarrollo de los cultivos agrícolas.

Cuadro 2. Valores de ETc, ETo, Kc y requerimiento de riego el (T2).

DDT	Etapa fenológica	Duración	ETc	ETo	Kc	RR
16	Inicial	16	4.4	76.8	0.06	0.09
42	Desarrollo Vegetativo	25	34.3	103.8	0.33	0.45
72	Inicio de fructificación	31	91	87.3	1.04	0.97
125	Inicio de cosecha	53	181.5	156.2	1.16	1.14
154	Fin de cultivo	29	77.3	82.4	0.94	0.88
	Sumatoria total	154	388.5	506.5		

DDT= días después de trasplante; ETc= evapotranspiración acumulada del cultivo por etapa (mm); ETo= evapotranspiración de referencia acumulada por etapa (mm); Kc= coeficiente de cultivo; RR= requerimiento de riego (L planta⁻¹ día⁻¹).

Tratamiento a tres tallos por planta (T3)

De manera similar los valores acumulados de ETo obtenidos fueron de 76.8, 103.8, 87.3, 156.2 y 82.4 mm; ETc medidos con el lisímetro de drenaje fueron de 4.6, 35.9, 99.3, 205.8 y 88.3 mm para las mismas etapas (Cuadro 3). Los cuales son menores a lo reportado por Dauda y Olayaki-Luqman (2016) quienes estimaron una ETc de 816, 775 y 617 mm día⁻¹, como una misma ETo (521.8 mm día⁻¹) para las variedades de tomate Cherry, Roma y Jubilee. De la misma manera, Hanson y May (2006) estimaron valores de ETc 648 a 752 mm en diferentes sistemas de riego (superficie y goteo) con rendimientos que oscilaron entre 82 y 146 Mg ha⁻¹ en variedades de tomate para procesamiento.

Cuadro 3. Valores de ETc, ETo, Kc, y requerimiento de riego para el (T3).

DDT	Etapa fenológica	Duración	ETc	ETo	Kc	RR
16	Inicial	16	4.6	76.8	0.06	0.095
42	Desarrollo vegetativo	25	35.9	103.8	0.35	0.479
72	Inicio de fructificación	31	99.3	87.3	1.14	1.068
125	Inicio de cosecha	53	205.8	156.2	1.32	1.294
154	Fin de cultivo	29	88.3	82.4	1.07	1.015
	Total	154	433.9	506.5		

DDT= días después de trasplante; ETc= evapotranspiración acumulada del cultivo por etapa (mm); ETo= evapotranspiración de referencia acumulada por etapa (mm); Kc= coeficiente de cultivo; RR= requerimiento de riego (L planta⁻¹ día⁻¹).

Asimismo, argumentaron que el sistema de aplicación de agua influye directamente en la estimación de la ETc, (disminución de la evaporación del suelo) especialmente cuando se emplean sistemas de riego por goteo. También encontraron que los valores de Kc promedio para una etapa intermedia varían de un año a otro, con un rango de valores que oscilaron entre 0.96 a 1.09. Los valores Kc encontrados en este estudio fueron de 0.06, 0.35, 1.14, 1.32 y 1.07 en cada etapa (Cuadro 3). En este caso, López *et al.* (2010) encontraron valores de kc de 0.3, 1.1 y 0.86 en etapa vegetativa, floración y madurez-senescencia en tomate de cascara en tratamientos donde se aplicaron láminas de riego equivalentes a ETo= 100% y sin acolchado de plástico, y cuando el cultivo se cubrió con acolchado plástico, los coeficientes de cultivo disminuyeron a 0.2, 0.71 y 0.56 de kc para las mismas etapas respectivamente.

Los autores mencionan que sus hallazgos fueron consistentes a lo encontrado por Allen *et al.* (1998) quienes propusieron valores de Kc para la etapa inicial, intermedia y final de 0.6, 1.15 y de 0.7 a 0.9 para el cultivo de tomate sin cubierta plástica. Por otro lado, estudios reportados por Zamora *et al.* (2014) mostraron valores Kc en etapa intermedia de 1.32 en tomate variedad Campbell. Rodríguez y Pire (2008); CONAGUA (2019), determinaron valores de Kc= 0.64 en la etapa inicial, 1.3 en fructificación y 1.22 en la etapa de cosecha para el mismo cultivo.

Finalmente, Dauda y Olayaki-Luqman (2016) estimaron valores de Kc inicial de 1.56, 1.39 y 1.18 con rendimientos de 6, 5 y 4.2 Mg ha⁻¹ para variedades de tomate Cherry, Roma y Jubilee. Estos valores de Kc son diferentes con respecto a otros hallazgos. Sin embargo, Kang *et al.* (2003) mencionan que los valores de Kc podrían variar de un lugar a otro dependiendo de factores como el clima, tipo de suelo y cultivo, variedad o método de riego, es por lo que enfatizan la calibración regional del Kc para diferentes condiciones ambientales.

Otros estudios realizados por Cerekovic *et al.* (2010) reportaron una fuerte relación entre el Kc y la temperatura de tomate *cv* Drácula cultivado en ambiente semiárido, indicando que el Kc y la ETc se pueden modelar al menos durante tres etapas del ciclo del cultivo. Los resultados mostraron que la estimación del máximo Kc se puede ajustar a las condiciones predominantes del clima (humedad relativa, velocidad del viento y altura de planta).

Relación entre el coeficiente de cultivo y el índice de área foliar

Los coeficientes de cultivo y el índice de área foliar permiten lograr un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos. En la Figura 1 se presenta la relación del Kc con el índice de área foliar evaluado desde trasplante hasta la cosecha del décimo racimo de la planta. Estas relaciones indican que el Kc se puede estimar a partir de IAF medido en tomate. Los Kc para el T1 (un tallo) pueden estimarse mediante la ecuación $Kc = 0.3323 (IAF) - 0.0174$, para el T2 (dos tallos) $Kc = 0.2425 (IAF) + 0.0249$ y para T3 (tres tallos) $Kc = 0.2388 (IAF) + 0.0103$.

López *et al.* (2010) encontraron en tomate de cascara cultivado en acolchado plástico que cuando el valor de IAF es igual a uno el coeficiente del cultivo tiende a aproximarse a la unidad; sin embargo, en ausencia de acolchado plástico este valor tiende a ser mayor que uno, lo cual indica que la ETc supera a la ETo.

Relación entre la evapotranspiración de cultivo, índice de área foliar y el rendimiento

En el Cuadro 4 presenta una prueba de comparación de media (Tukey con $p \leq 0.05$) en donde se encontró diferencias estadísticamente significativas entre las variables de ETc, IAF y rendimiento de frutos en los tratamientos. Por consiguiente, los valores totales de consumo de agua que se obtiene a lo largo del ciclo de cultivo, sin limitaciones de agua en la zona explorada por las raíces, dependen de la demanda atmosférica, de la duración del ciclo de cultivo y del área foliar desarrollada por la planta.

Cuadro 4. Relación entre la evapotranspiración de cultivo, índice de área foliar y el rendimiento.

Tratamientos	ETc (mm)	IAF (m ² m ⁻²)	Rendimiento (kg plamta ⁻¹)
T1 (un tallo)	351.9 c	3.15 c	6.66 a
T2 (dos tallos)	388.5 b	4.66 b	6 b
T3 (tres tallos)	433.9 a	5.53 a	5.33 c

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Desde el punto de vista del consumo de agua de los cultivos, la estructura aérea del cultivo es la que determina la cantidad de agua transpirada. De tal manera, que a medida que aumenta el índice de área foliar aumenta linealmente el consumo de agua del cultivo para una misma demanda atmosférica, hasta alcanzar un máximo bajo cobertura máxima del dosel, después empieza a disminuir al día (Mendoza-Pérez *et al.*, 2018b).

En este trabajo de investigación se encontró que a medida que se incrementa el número de tallos por planta aumenta el número de frutos, sin embargo disminuye su tamaño para fines de exportación por consiguiente y de acuerdo a la evaluación y análisis de las variables antes mencionada se define que el mejor tratamiento fue el T1 (un tallo) por planta, ya que presentó menor valor de evapotranspiración del cultivo comparado con los demás tratamientos, además de presentar mejor rendimiento y tamaño de frutos cosechados (Cuadro 4).

Conclusiones

Las mediciones diarias de traspiración en condiciones controladas permiten calcular el requerimiento hídrico de riego para el cultivo de tomate en función de número de tallos por planta. Además, se encontró que a medida que se incrementa el número de tallos por planta, se incrementa el Kc, IAF y por consiguiente aumenta la evapotranspiración y el requerimiento hídrico del cultivo de jitomate; sin embargo, disminuye el tamaño de frutos. Se observó que el comportamiento del Kc en cultivos hortícolas depende fuertemente de la temperatura del ambiente bajo condiciones controladas y varía con las prácticas de manejo, por lo que, es necesario relacionar dichos valores con etapas de desarrollo del cultivo.

Los valores de Kc se pueden estimarse a partir de IAF medido en tomate, para el T1 (un tallo) con la ecuación $Kc = 0.3323 (IAF) - 0.0174$, para el T2 (dos tallos) $Kc = 0.2425 (IAF) + 0.0249$ y para T3 (tres tallos) por planta $Kc = 0.2388 (IAF) + 0.0103$. El atmómetro es una alternativa para estimar la evapotranspiración de referencia (ETo) para la calendarización del riego en diferentes cultivos con el fin de optimizar este recurso hídrico.

Literatura citada

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirement. FAO irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of United Nations. Rome, Italy. 300 p.
- Cerekovic, N.; Todorovic, M.; Snyder, R. L.; Boari, F.; Pace, B. and Cantore, V. 2010. Evaluation of the crop coefficients for tomato crop grown in a Mediterranean climate. *In*: López-Franco, A. (Comp.). Economics of drought and drought preparedness in a climate change context. Zaragoza. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéen. 2(95):91-94.

- CONAGUA. 2019. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del agua en México. Gobierno de México. 261 p. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?publicaciones>.
- Dauda, K. A. and Olayaki, L. M. 2016. Determination of crop coefficients of three varieties of tomatoes. *Inter. J. Res. Sci. Eng. Technol.* 1(1):1-8.
- Fernández, R. D.; Martínez, M. M.; Tavarez, E. C.; Castillo, V. R. y Salas, M. R. 2012. Estimación de las demandas de consumo de agua. Folleto técnico núm. 1. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 33 p.
- Flores, V. J.; Ojeda, B. W.; López, C. I.; Rojano, A. A. y Salazar, S. I. 2007. Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoam.* 25(2):127-134.
- Hanson, B. and May, D. 2006. Evapotranspiration, yield, crop coefficients, and water use efficiency of drip and furrow irrigated processing tomatoes. *WIT transactions on ecology and the environment.* 96(6):31-35.
- Jensen, M. E. and Wright, J. L. 1978. The role of evapotranspiration models in irrigation scheduling. *Trans. ASAE.* 21(1):82-87.
- López, L. R.; Arteaga, R. R.; Vázquez, P. M. A.; López, C. I. y Sánchez, C. I. 2010. Evapotranspiración del cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa Brot.*) estimada mediante el potencial mátrico del suelo. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(2):157-168.
- López, C. I. L.; Ruiz, G. A. y Martínez, R. A. 2017. Una comparación de los modelos VegSyst y mod-VegSyst para predecir la materia seca, la absorción de nitrógeno y la transpiración de los tomates cultivados en invernadero. *Acta Hortic.* 1227(32):265-272.
- Martínez, R. A.; López, C. I. L.; Ruiz, G. A.; Pineda, P. P. and Prado, H. J. V. 2019. HortSyst: a dynamic model to predict growth, nitrogen uptake, and transpiration of greenhouse tomatoes. *Chilean J. Agric. Res.* 79(1):89-102.
- Mendoza, P. C.; Ojeda, B. W.; Sifuentes, I. E.; Quevedo, N. A.; Flores, M. H.; Ramírez, A. C. y Ascencio, H. R. 2019. Estimación de la evapotranspiración de referencia por atmómetros con fines de calendarización de riego. *Idesia. Rev. Agric. Zon. Árid. Semiár.* 37(4):65-72.
- Mendoza, P. C.; Ramírez, A. C.; Ojeda, B. W.; Trejo, L. C.; López, O. A.; Quevedo, N. A. and Martínez, R. A. 2018. Response of tomato (*Solanum lycopersicum L.*) to water consumption, leaf area and yield with respect to the number of stems in the greenhouse. *Rev. Fac. Cienc. Agrar.* 50(2):87-104.
- Reis, L. S.; Azevedo, C. A. V.; Albuquerque, A. W. y Junior, J. F. S. 2013. Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. *Rev. Bras. Engenharia Agríc. Amb.* 17(4):386-391.
- Rodríguez, C. J.; Pérez, G. A.; Ortega, G. L. y Arteaga, B. A. 2020. Estudio hidrosostenible en el cultivo del tomate, su efecto en el rendimiento y calidad del fruto. *Cultivos Tropicales.* 41(2):1-16.
- Rodríguez, J. R. y Pire, R. E. 2008. Evapotranspiración diaria del tomate determinada mediante un lisímetro de pesada. *Agron. Trop.* 58(1):73-76.
- Soto, B. F. 2018. Parámetros para el manejo del agua en tomate y chile dulce hidropónico bajo invernadero. *Agron. Costarricense.* 42(2):59-73.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *Proc. 6th Int. Cong. Soilless culture.* ISOSC. Lunteren, Holanda. 633-649 pp.
- Vera, V. C.; Rázuri, R. L.; Rosales, D. J.; Jaimez, A. R. E.; Proaño, S. J. y Mora, A. M. 2014. Programación y manejo del riego localizado en invernadero mediante tres métodos de estimación de la evapotranspiración en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum L.*). *Agric. Andina.* 20(1):39-52.
- Zamora, H. E. I.; Duarte, D. C. E.; Cun, G. R.; Pérez, H. R. y León, F. M. 2014. Coeficientes de cultivos (Kc) en Cuba. *Ingeniería Agrícola.* 4(3):16-22.