



Requerimientos hídricos del tomate en el valle de Cavaco en Benguela, Angola

Water requirements of the tomato in the valley of Cavaco in Benguela, Angola

Ing. Anaclides Rogério Mossande¹, Dr.C. Oscar Brown Manrique¹¹, Dr.C. Albi Mujica Cervantes¹¹

¹ Gobierno Provincial de Benguela, Angola.

¹¹ Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Ciego de Ávila, Cuba.

RESUMEN. Se llevó a cabo una investigación en el Valle de Cavaco provincia de Benguela, en Angola, para la determinación de los requerimientos hídricos del tomate con la utilización de un sistema de riego por goteo accionado por energía fotovoltaica. La evapotranspiración de referencia (ET_o) se calculó mediante el método de Penman Monteith y la evapotranspiración del cultivo (ET_c) a partir de la ecuación de balance de agua en el suelo. El valor del K_c se definió al relacionar la ET_c con la ET_o. El estudio de la dinámica fenológica del cultivo se realizó por medio de observaciones directas después del día de plantación (DDP). El ajuste del K_c para la fase inicial, media y final se efectuó según la metodología de Allen. Los resultados indican valores de K_c de 0,51; 1,17 y 0,60 en las etapas inicial, intermedia y final, los cuales en las fases intermedia y final fueron similares a los valores de K_c tabulados sugeridos por la FAO y a los ajustados a las condiciones de la localidad; sin embargo difieren ligeramente en la fase inicial en un 1,7% y 3,5% respectivamente. La evapotranspiración del cultivo alcanzó valores de 2,4; 5,6 y 3,5 mm día⁻¹ en cada una de las etapas fenológicas. Para todo el ciclo fenológico del cultivo se alcanzó una evapotranspiración de 432,4 mm.

Palabras clave: evapotranspiración, coeficiente de cultivo, riego por goteo.

ABSTRACT. A research for the determination of crop water requirements of tomato (*Lycopersicon esculentum*) with the use of a drip irrigation system powered by photovoltaic energy was carried out in the Cavaco Valley in Benguela province, in Angola. The reference evapotranspiration (ET_o) was calculated using the Penman Monteith method and crop evapotranspiration (ET_c) from the water balance equation on the ground. The value of K_c is defined to relate ET_c to ET_o. The study of the dynamics of crop phenology was performed by direct observations after planting days (APD). Setting K_c to the initial, middle and final stage was conducted according to the Allen's methodology. The results indicate K_c values of 0.51; 1.17 and 0.60 in the initial, intermediate and final stages, which in the intermediate and final stages were similar to those tabulated K_c values suggested by FAO and adjusted to the conditions of the locality, but differ slightly in the initial phase by 1.7% and 3.5% respectively. Crop evapotranspiration reached values of 2.4; 5.6 and 3.5 mm·day⁻¹ in each of the phenological stages. For all the phenological cycle of the crop evapotranspiration of 432.4 mm was reached.

Keywords: evapotranspiration, crop coefficient, drip irrigation.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es el sistema de producción que mayor demanda de agua tiene a nivel global; siendo el riego la actividad que consume el 70% de este recurso a nivel mundial (Roldán *et al.*, 2009)¹. Se estima que sólo el 20% de las tierras agrícolas del mundo se encuentran bajo riego, las cuales proporcionan el 40% de la producción agrícola mundial (Ambast *et al.*, 2002).

Los requerimientos hídricos dependen de varios factores entre los cuales los más importantes están el clima y el consumo hídrico según la especie y estado de desarrollo del cultivo, lo que permiten mantener suficiente humedad en el sistema radicular en función de los factores climáticos, la fenología del cultivo y las características de suelo; (Bustamante *et al.*, 2005)².

¹ ROLDÁN, J., M. DÍAS, M. PÉREZ, M. MORENO, M.: Mejora de la gestión del agua de riego mediante el uso de indicadores de riego, Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo 42(1):107-124, 2009.

² BUSTAMANTE, I; OJEDA, W; SIFUENTES, E; UNLAND, H; WEISS, Y.: Programación Integral del Riego en Maíz en el Norte de Sinaloa México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuahnáhuac, México, 2005.

El coeficiente de cultivo (Kc) es un importante parámetro para el manejo planificación y programación del riego en periodos mayores a un día (FAO, 2006). El mismo varía con el período de crecimiento de la planta y con el clima y depende de la capacidad de la planta para extraer agua del suelo según su estado de desarrollo vegetativo (Valverde, 2007)³. La FAO recomendó las metodologías y procedimientos para el cálculo del Kc (Doorenbos y Pruitt, 1977; Doorenbos y Kassam, 1979; Allen *et al.*, 1998; Allen *et al.*, 2005).

Estudios realizados por Silveira y Stone (2004) revela la existencia de variaciones en el valor de este parámetro debido posiblemente a las prácticas culturales empleadas en las zonas en que fueron determinados. Conociéndose que la determinación de la evapotranspiración del cultivo es un paso importante para el manejo eficiente de los sistemas de riego, el objetivo del trabajo consiste en determinar los requerimientos hídricos del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*) en el valle de Cavaco en la provincia de Benguela, Angola.

MÉTODOS

El experimento se realizó en el Valle de Cavaco provincia de Benguela en Angola, localizado en la latitud 12° 36' S y la longitud 13° 53' E con una altitud de 26 m sobre el nivel medio del mar. El periodo experimental se extendió desde el inicio del mes de noviembre del 2008 hasta inicio de febrero del 2009 en correspondencia con el ciclo del cultivo. Se utilizó un sistema de riego por goteo accionado por energía fotovoltaica. El mismo se diseñó con un coeficiente de cultivo en el periodo de máxima demanda igual a 1,15 (Allen *et al.*, 1998.). Posteriormente se precisó su valor para las condiciones específicas del área de

estudio, acorde con el comportamiento de las variables climáticas, el manejo del sistema y el desarrollo fenológico del cultivo.

Los valores promedios de las variables climáticas según el Instituto Nacional de Meteorología y Geofísica (INAMET, 2009 y 2013)^{4,5}, se muestran en la Tabla 1 para una serie correspondiente al ciclo vegetativo del cultivo desde noviembre del 2008 a febrero del 2009. Se distingue una temperatura media mensual de 22,1 °C para el mes más frío y de 25,3 °C para el mes más caluroso; siendo la amplitud térmica de 3,2 °C que se considera muy pequeña. La precipitación pluviométrica promedio en el ciclo fue de 74,4 mm.

TABLA 1. Valores de las variables climáticas en la zona de estudio

Variables climáticas	Noviembre 2008			Diciembre 2008			Enero 2009			Febrero 2009		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
P (mm)	1,2	0,0	0,0	21,4	24,3	24,2	0,0	0,7	0,0	2,6	0,0	0,0
Tmin (oC)	22,5	24,2	23,2	24,4	23,4	22,7	22,8	22,1	23,8	24,3	25,3	23,5
Tmax (oC)	27,8	29,9	28,7	30,8	29,5	28,6	29,3	30,3	31,6	29,5	31,8	30,5
Tm (oC)	25,15	27,05	25,95	27,6	26,45	25,65	26,05	26,2	27,7	26,9	28,55	27
HRm (%)	74	75	76	74	73	74	72	75	77	77	74	74
U ₂ m s ⁻¹)	4,8	5,2	5,0	5,4	5,8	5,6	5,8	5,6	5,4	5,6	5,4	5,8
n (h)	11,6	12,5	11,9	9,5	9,2	9,9	9,5	9,2	9,9	12,5	12,5	12,4

La evapotranspiración de referencia (ET_o) se calculó mediante el método de Penman Monteith (Allen *et al.*, 1998) con datos climatológicos obtenidos en la estación meteorológica del Municipio Benguela ubicada cerca del área de estudio. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$ET_o = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,3u_2)} \quad (1)$$

donde: ET_o es la evapotranspiración de referencia (mm/día); R_n la radiación neta sobre la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹); G la densidad del flujo de calor del suelo (MJ m⁻² día⁻¹); T la temperatura del aire a 2 m de altura (°C); U₂ la velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹); e_s la presión de saturación de vapor (kPa) estimada mediante e_s(T_{máx}) y e_s(T_{mín}); la presión actual de vapor (kPa); e_s-e_a el déficit de presión de saturación de vapor (kPa °C⁻¹); Δ la tangente de la curva de saturación de vapor (kPa °C⁻¹); γ la constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

La evapotranspiración neta del cultivo (ET_n) en el riego localizado se calculó con la ecuación siguiente:

$$ET_n = ET_o \cdot K_c \cdot K_r \quad (2)$$

$$K_r = 0,10 + \frac{A_c}{A_m} \quad (3)$$

donde: ET_n es la evapotranspiración neta del cultivo en el riego localizado (mm/mes); K_c el coeficiente de cultivo en el periodo de máxima demanda; K_r el coeficiente de corrección; A_c el área de raíces activas (m²); A_m el área del marco de plantación (m²).

Las necesidades netas y totales de agua aplicada al cultivo se estimaron para una serie anual de 12 años de observaciones sistemáticas desde el año 2000 al 2012 con las siguientes ecuaciones:

$$N_n = ET_n - P_e \quad (4)$$

³ VALVERDE, J.: Riego y drenaje, 224pp., Editorial de la Universidad Estatal a Distancia (EUNED), pp. Costa Rica, 2007.

⁴ INAMET: Boletín informativo de las variables meteorológica. Instituto Nacional de Meteorología y Geofísica. Delegación de Benguela, Angola, 2009.

⁵ INAMET: Boletín informativo de las variables meteorológica. Instituto Nacional de Meteorología y Geofísica. Delegación de Benguela, Angola, 2013.

$$N_t = \frac{N_n}{E_f(1-F_L)} : F_L < 0,10 \quad ; N_t = \frac{0,90N_n}{E_f(1-F_L)} : F_L > 0,10 \quad (5)$$

$$E_f = K_s \left(\frac{C_U}{10000} \right) \quad (6)$$

donde: N_n son las necesidades netas de riego (mm/mes); N_t las necesidades totales de riego (mm/mes); P_e la precipitación efectiva (mm/mes); E_f la eficiencia del riego (adim.) K_s la eficiencia del suelo para el almacenamiento de agua (%); C_U el coeficiente de uniformidad (%).

La corrección por agua salina se realizó mediante la fracción de lavado (F_L) que permite añadir una cantidad extra de agua para la eliminación o desplazamiento de las sales disueltas en el agua de riego (Aguirre y Meza, 2011)⁶. Se empleó la ecuación siguiente:

$$F_L = \frac{C_E}{(5C_{Ee} - C_E)f} \quad (7)$$

donde: F_L es la fracción de agua aplicada en cada riego; C_E la conductividad eléctrica del agua de riego (dS m⁻¹); C_{Ee} la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo para un 10% de disminución del rendimiento (dS m⁻¹); f la eficiencia del lavado (se adopta un valor de 85% para un suelo fran-

co arcilloso). El análisis de la conductividad eléctrica del agua de riego y del extracto de saturación del suelo se consideró en la investigación, porque según Matheus (2011)⁷ permite conocer la cantidad de sales que puede contener el suelo y su efecto sobre la germinación de la semilla, el crecimiento y la absorción de agua por la planta.

El intervalo de riego se obtuvo de la relación entre la lámina de agua requerida y la evapotranspiración diaria neta como se muestra en las ecuaciones siguientes:

$$I_R = \frac{L_r}{ETd_n(L/p/d)} \quad (8)$$

$$L_r = \rho \cdot H \cdot A_H (CC - Lp) \quad (9)$$

donde: I_R el intervalo de riego (día) L_r la lámina de agua requerida (L planta⁻¹); ETd_n la evapotranspiración diaria neta del cultivo (L planta⁻¹·día⁻¹); A_H el área humedecida (m²).

El suelo del área experimental es del tipo arcilloso que se corresponde con el Luvisolo crómico (WRB, 2007). Las propiedades físicas del mismo para un contenido de humedad de 0,26 cm³·cm⁻³ se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2. Propiedades hidrofísicas del suelo

Profundidad (cm)	θ_{ini} (cm ³ ·cm ⁻³)	ρ (g·cm ⁻³)	ρ_s (g·cm ⁻³)	θ_{cc} (cm ³ ·cm ⁻³)	θ_{sat} (cm ³ ·cm ⁻³)	θ_{PMP} (cm ³ ·cm ⁻³)
0-10	0,35	1,33	2,65	0,37	0,504	0,17
10-20	0,36	1,34	2,66	0,38	0,518	0,18
20-30	0,35	1,34	2,71	0,36	0,413	0,18
30-40	0,36	1,35	2,72	0,37	0,424	0,18

En la investigación se utilizaron plántulas de tomate de la variedad Heat Master con un marco de plantación de 30 cm entre plantas y 150 cm entre hileras. La plantación se realizó en la época óptima del cultivo según MINADER (2009) el día 1/11/2008; partiéndose de un contenido de humedad inicial igual a la capacidad de campo.

El cálculo de la variación de la humedad en el suelo se realizó diariamente y el análisis se efectuó con el apoyo de una hoja Excel que permitió el manejo del riego a partir de la ecuación de balance hidroedafológico con la que se determinó la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la lámina de riego necesaria para llevar el suelo a capacidad de campo. Debido a la alta velocidad de infiltración del suelo, el escurrimiento superficial y el aporte capilar se consideraron insignificante en esta ecuación (Trezza *et al.*, 2008), la cual se escribió de la forma siguiente:

$$ET_c = P_e + L_a + W_i - W_f \quad (10)$$

$$W_f = W_i + P_e + L_a - ET_c \quad (11)$$

donde: P_e es la precipitación efectiva (mm) determinada por el método de Savo (Pacheco *et al.*, 2007); L_a la lámina de riego aplicada (mm) según los resultados de la dinámica de humedad del suelo; W_i la reserva de humedad al inicio del periodo analizado (mm); W_f la reserva de humedad al final del periodo analizado (mm). El contenido de humedad se determinó semanalmente a partir del momento del trasplante por el método gravimétrico (Topp y Ferré, 2002). El Coeficiente de cultivo se obtuvo según Muñoz (2005)⁸, a través de la relación entre ET_c y ET_o .

El estudio de la dinámica fenológica del cultivo se llevó a cabo por medio de observaciones directas cada siete días después del día de plantación (DDP) para definir las fases del ciclo vegetativo. El ajuste del Kc para la fase inicial, media y final se realizó según la metodología de Allen *et al.*, (1998) mediante las siguientes ecuaciones:

⁶ AGUIRRE, J. L.; MEZA, M. J.: Diseño de un sistema de riego por goteo para producción de hortalizas y semillas en Zamorano, pp.44, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras, 2011.

⁷ MATHEUS, F.: Diseño de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en un sector de la finca "Estapape" sector Estapape, Parroquia La Quebrada, Municipio Urdaneta, Estado Trujillo. Universidad de Los Andes, 77p, Venezuela, 2011.

⁸ MUÑOZ, G.: El uso de la información climática para la planeación y el manejo sostenible de la agricultura de secano y bajo riego. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas FAO Roma. Curso de Agroclimatología Tropical. C.I, Tibaitatá, Bogotá, 2005.

$$Kc_{ini} = Kc_{ini}(fig\ 29) + \frac{I-10}{40-10} [Kc_{ini}(fig\ 30) - Kc_{ini}(fig\ 29)] \tag{12}$$

$$Kc_{med} = Kc_{med}(tab\ 12) + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(HR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \tag{13}$$

$$Kc_{fin} = Kc_{fin}(tab\ 12) + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(HR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \tag{14}$$

donde: Kc_{ini} es el valor del coeficiente de cultivo en la fase inicial; ET_o la evapotranspiración de referencia correspondiente a la fase inicial ($mm \cdot dia^{-1}$); Kc_{ini} (Figura 29) valor del Kc_{ini} obtenido de la figura 29 del boletín FAO 56; Kc_{ini} (Figura 30) valor del Kc_{ini} obtenido de la figura 30 del boletín FAO 56; I la profundidad media de infiltración del agua en el suelo; Kc_{med} (Tabla 12) valor del Kc_{med} obtenido en la tabla 12 del boletín FAO 56; U_2 el valor medio de la velocidad del viento a 2 m de altura durante la fase de desarrollo del cultivo ($m \cdot s^{-1}$); h la altura media de la planta durante la fase de desarrollo (m); Kc_{fin} (Tabla 12) es el valor del Kc_{fin} obtenido de la tabla 12 del boletín FAO 56.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 3 muestra los principales parámetros del diseño agronómico del sistema de riego por goteo para el cultivo del tomate, el cual satisface las necesidades del cultivo en el periodo de máxima demanda hídrica. Se observa que el mes de enero representa el más crítico al presentar los valores más altos de evapotranspiración diaria neta, necesidades hídricas netas y totales; así como el intervalo de riego más bajo; por lo que se toman estas estimaciones para el diseño del sistema de riego por goteo.

La Figura 1 expone la dinámica del ingreso y egreso de láminas de agua durante el ciclo fenológico del cultivo. Se pone de manifiesto que en el periodo estudiado la lámina total de precipitaciones es de 74,4 mm y la lámina total de riego de 350,8 mm, que representa 4,7 veces el aporte de agua pluvial. En total se aplicaron 28 riegos con un valor promedio de 12,5 mm. La lámina más baja fue de 5,6 mm, aplicada el 24 de diciembre del 2008 y la mayor de 13,97 mm correspondiente a la reserva máxima del suelo.

TABLA 3. Necesidades hídricas del cultivo e intervalo de riego

Mes	ETd_n (mm · día ⁻¹)	N_n (mm · día ⁻¹)	N_t (mm · día ⁻¹)	I_r (día)
Nov.	3,09	3,04	3,37	3
Dic.	5,40	5,27	5,86	2
Ene.	6,77	6,71	7,46	2
Feb.	3,69	3,59	3,99	3

La relación porcentual entre el ingreso por precipitaciones y la lámina total aplicada fue del 21%, la cual se considera muy baja. Este valor demuestra el poco peso de la precipitación pluvial en la satisfacción de los requerimientos hídrico del cultivo y justifica la necesidad de aplicar riego para la producción de tomate bajo estas condiciones.

En diciembre se produjeron seis precipitaciones de las cuales el 50% rebasaron la lámina requerida. Esto permitió suspender tres riegos y reducir en dos de ellos la cantidad de agua necesaria en un 42%; por lo que solo fue preciso aplicar dos riegos. La lámina de precipitación total caída fue de 69,9 mm para un 94% de la precipitación total ocurrida entre noviembre y febrero. En este periodo el cultivo se encuentra en la etapa de desarrollo, por lo que el aporte por lluvia contribuyó al ahorro de agua, similar al resultado encontrado por Mesa *et al.*, (2013) en sistema de riego localizado por micro aspersión en el cultivo del tomate en las condiciones de Cuba.

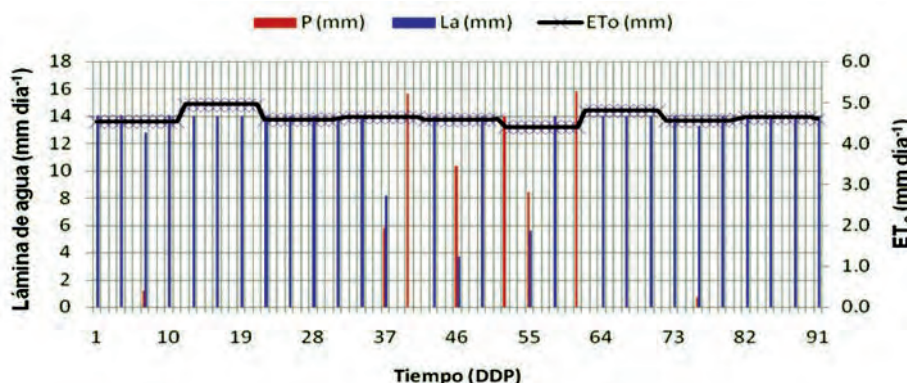


FIGURA 1. Dinámica del ingreso y egreso de láminas de agua.

En la Figura 2 se ofrece la dinámica del crecimiento del cultivo del tomate durante el periodo estudiado. Se demuestra que el cultivo manifestó una intensa actividad vegetativa a partir de los 40 a 60 DDP y luego se estabilizó en la etapa de madurez fisiológica, lográndose una altura de la planta de 90 cm. Este desarrollo estuvo asociado a las condiciones edafoclimáticas imperantes y a las laminas de agua aplicadas mediante el sistema de riego, el cual proporcionó un contenido de humedad muy adecuado para el desarrollo y crecimiento del cultivo.

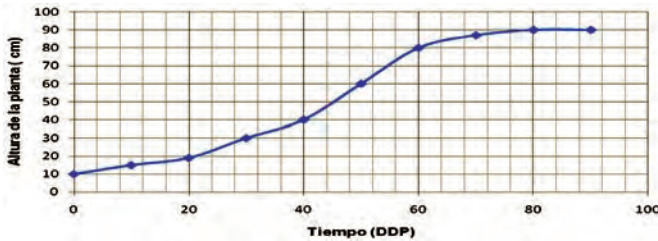


FIGURA 2. Dinámica del crecimiento del cultivo del tomate.

En la Figura 3 se observa que el K_c varió a lo largo del período de crecimiento, acorde con las cuatro etapas fenológicas del cultivo: inició, desarrollo, medio y final. La etapa inicial comprende desde la fecha de plantación hasta cuando el cultivo alcanza el 10% de la cobertura del suelo. Tuvo una duración de 18 DDP con un valor de K_c igual a 0,51. La etapa de desarrollo comenzó cuando la cobertura del cultivo fue del 10% hasta que se recubrió totalmente el área del suelo. En el presente trabajo esta etapa duró 48 DDP con un valor promedio de 0,85 para el K_c . La etapa media fue la que presentó la mayor duración. La misma estuvo comprendida desde el momento que se logró la cobertura completa del suelo hasta el comienzo de la madurez del cultivo. Su duración fue de 88 DDP con un valor de K_c igual a 1,17.

La etapa final de crecimiento se extendió desde el inicio de la madurez hasta la cosecha. La duración de esta etapa fue de 22 DDP y el K_c alcanzó un valor de 0,60. El K_c global obtenido en la investigación fue de 0,82, el cual estuvo en correspondencia con los resultados mostrados por León y Cun (2003) así como Gallardo *et al.* (2013)⁹, en estudios realizados para el cultivo del tomate en diferentes regiones de Cuba.

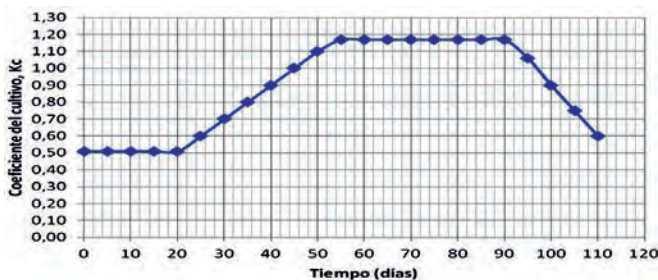


FIGURA 3. Curva del coeficiente K_c para el cultivo del tomate.

En la Figura 4 se presenta el comportamiento del K_c y la ET_c en las diferentes fases fenológicas del cultivo. Se distinguen valores bajos de la evapotranspiración durante el inicio de la

primera fase de crecimiento, debido a la poca capacidad de las plantas para tomar el agua del suelo por tener en ese momento el sistema de raíces y el sistema foliar poco desarrollado, lo que motivó valores promedios de 2,4 $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$.

En la fase intermedia el cultivo alcanza la máxima cobertura foliar, obteniéndose valores máximo para la ET_c de 5,6 $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$ con un promedio de 5,4 $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$, en la cual la ET_c sobrepasa a la ET_o en 1,17 veces. Este comportamiento se debe a que la planta desarrolla una actividad fotosintética activa y se intensifica el proceso de respiración, debido al acrecentamiento del área foliar. Todo esto favorece el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Durante la fase final el cultivo alcanza su madurez fisiológica y la ET_c presenta valores promedio de 4,5 $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$. En esta etapa se reduce la tasa de crecimiento y la cobertura foliar, debido a la caída sistemática de las hojas. Para todo el ciclo fenológico del cultivo se alcanzó una ET_c de 432,4 mm.

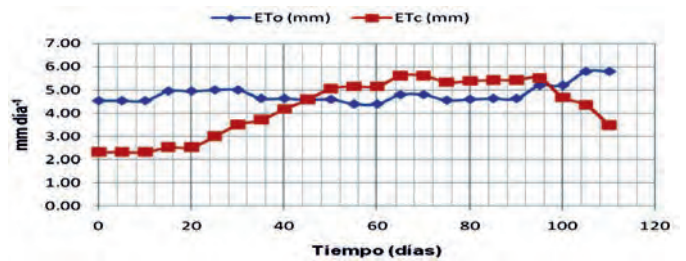


FIGURA 4. Comportamiento del K_c y la ET_o en las fases fenológicas.

En la Tabla 4 se comprueba que los valores de K_c tabulados sugeridos por la FAO se asemejan a los obtenidos por vía experimental y a los ajustados a las condiciones edafoclimáticas de la localidad según Allen *et al.*, (1998) en las fases intermedia y final; sin embargo difiere ligeramente en la fase inicial en un 1,7 y 3,5% respectivamente. Esta diferencia puede deberse a la diferencias que existieron en cuanto a velocidad del viento, humedad relativa mínima y altura de las plantas. También influyeron la evapotranspiración del cultivo, la lámina de agua aplicada y el intervalo de riego, que en esta investigación fue de 2,4 $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$, 82,6 mm y 3 días respectivamente.

TABLA 4. Valores comparativos de K_c según el método utilizado

Método	Fase inicial	Fase intermedia	Fase final	K_c Global
Kc FAO (Tabla)	0,60	1,15	0,70	0,82
Kc FAO ajustado	0,49	1,19	0,69	0,79
Kc experimental	0,51	1,17	0,60	0,76

En la etapa intermedia se logró una aproximación de los valores de $K_{c_{med}}$ debido a que en esta fase se garantizó en todos los casos una alta cobertura foliar y un adecuado contenido de humedad en el suelo que permitieron un desarrollo normal del cultivo. En la etapa final también se produjo una similitud en el valor de $K_{c_{fin}}$. Sobre este comportamiento Mendonça *et*

⁹ GALLARDO, Y; BROWN, O; ROJAS, A.: Análisis de los impactos provocados por la sequía agrícola en diferentes cultivos en el municipio Venezuela de la Provincia de Ciego de Ávila, Resultados del PRCT Sistema de Gestión de Sequías. Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH). Universidad de Ciego de Ávila, Ciego de Ávila, Cuba, 2013.

al., (2007) afirma que la causa se debe a la baja disponibilidad de agua en el suelo y la reducción gradual del área foliar que conduce a una homogenización de las tasas de transferencia de agua hacia la atmósfera.

CONCLUSIONES

- La programación de riego aplicada mediante el sistema de riego por goteo accionado por energía fotovoltaica para el cultivo del tomate permitió satisfacer las necesidades del cultivo en el periodo de máxima demanda hídrica, pudiendo alcanzar un adecuado desarrollo y una altura en las plantas de 65 cm en la etapa de madurez fisiológica.
- La relación porcentual entre el ingreso por precipitaciones y la lámina de riego total aplicada fue de 21%, lo que demuestra la necesidad de aplicar riegos para la satisfacción de los

requerimientos hídrico del tomate bajo estas condiciones.

- Los valores del coeficiente de cultivo K_c obtenidos por vía experimental fueron de 0,51 en la etapa inicial; 1,17 en la etapa intermedia y 0,60 en la etapa final. Estos resultados fueron similares a los valores de K_c tabulados sugeridos por la FAO y a los ajustados a las condiciones edafoclimáticas de la localidad según Allen, en las fases intermedia y final; sin embargo difieren ligeramente en la fase inicial en un 1,7 y 3,5% respectivamente.
- La evapotranspiración del cultivo ET_c alcanzó los valores más bajos al inicio de la primera fase con 2,4 mm·día⁻¹. Durante la fase intermedia se obtuvieron los valores máximo de 5,6 mm·día⁻¹ y en la fase final se reduce hasta valores de 3,5 mm·día⁻¹. Para todo el ciclo fenológico del cultivo se alcanzó 432,4 mm.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D. & SMITH, M.: *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*, 300pp., FAO Irrigation and Drainage Paper 56, ISSN: 0254-5293, FAO, Rome, Italy, 1998.
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., SMITH, M., RAES, D., WRIGHT, J.L.: FAO-56 Dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *J. Irrig. Drain. Engng.-ASCE*, ISSN: 0733-9437, DOI: 10.1061/ (ASCE) 0733-9437 (2005)131:1 (2), 131: 2-13, 2005.
- AMBAST, S. K.; KESHARI, K.; GOSAIN, A.: "Satellite remote sensing to support management of Irrigation systems: concepts and approach", *Irrigation and drainage*, ISSN: 1531-0353, 51:25-39, 2002.
- DOOREMBOS, J; KASSAM, A. H.: *Efectos del agua en rendimiento de los cultivos*, 212pp., Roma: FAO. Riego y Drenaje, 33, 2006.
- DOOREMBOS, J; PRUIT, W.: *Las necesidades de agua de los cultivos*, 193pp., Serie Riego y Drenaje N° 24. FAO, Roma, Italia, 1977.
- FAO: *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Manual No. 56 Serie Riego y Drenaje, Roma, Italia, 2006.
- LEÓN, M. y R, CUN: "Necesidades hídricas del tomate protegido en las condiciones de Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, 12 (3): 5-8, 2003.
- MENDONCA, J. C; SOUSA, E. F; BERNARDO, S; SUGAWARA, M. T; PEÇANHA, A. L; GOTTARDO, R. D.: determinación del coeficiente de cultivo (kc) del frijol (*phaseolus vulgaris l.*) en campos de goytacazes, rj., *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, ISSN: 1807-1929, v.11. No.5, pp. 471-475, Brasil, 2007.
- MESA, YULIET; DUARTE, CARMEN; GARCÍA, AYMARA: "Efectividad de aplicación de bioplaguicida a través del sistema de riego localizado por microaspersión en el cultivo del tomate", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN -1010-2760, 22 (2): 41-46, 2013.
- MINADER: Boletín informativo sobre agricultura de la Provincia de Benguela. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de la Republica de Angola. [en línea] junio, 2008. Disponible <http://www.portalangop.co.ao/> [Consulta: febrero, 19 2009].
- PACHECO, J; ALONSO, N; PUJOL, P; CAMEJO, E.: *Riego y Drenaje*, Segunda Edición. Editorial Félix Varela. ISBN 978-959-07-0621-9, pp. 414, Cuba, 2007.
- SILVEIRA, P. M.; STONE L. F: "Irrigação" *Informe Agropecuario, EPAMIG*, 5 (223): 4-82, 2004.
- TOPP G. C; FERRÉ, P. A.: *Thermogravimetric determinations using convective oven-drying*, pp. 422-424, In: J.H. Dane and G.C. Topp (eds). *Methods of soil analysis, part 4. Physical methods*, Soil Science Society of America. Inc. Madison, USA, 2002.
- TREZZA, R; PACHECO, YELITZA; SUARES, YAMILETH; NUÑEZ, AIXA; UMBRIS, I.: "Programación del riego en caña de azúcar en una zona semiárida del Estado de Lara, Venezuela, utilizando la metodología FAO-56", *Revista Bioagro*, 20 (1): 21-27, Venezuela, 2008.
- WRB: *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización*, Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma, Italia, 2007.

Recibido: 17/03/2014.

Aprobado: 09/12/2014.

Publicado: 28/01/2015.

Anaclides Rogério Mossande, Ingeniero agrónomo, Funcionario del Gobierno Provincial de Benguela, Angola, Profesor colaborador de la Universidad Metodista de Angola, Correo electrónico: ranaclides@yahoo.com.br