

Coeficiente del cultivo de pimentón (*capsicum annum L.*) para la programación del riego bajo condiciones de invernadero.

Coefficient of sweet pepper cultivation (*capsicum annum L.*) for the programming of irrigation under greenhouse conditions.

Carolina Valera¹, Luis Rázuri¹ y Ramón Jaimez².

1) Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT).

2) Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP).

vcarolina@ula.ve, razuri@ula.ve, rjaimez@ula.ve

Fecha de inicio: Noviembre de 2011.

Fecha de finalización: Septiembre 2012.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estimar el coeficiente del cultivo (Kc) de *Capsicum annum L.* para la programación del riego bajo condiciones de invernadero, mediante la metodología propuesta por Fernández, *et al.* (2001) el cual, consiste en relacionarlo con el desarrollo del cultivo a través de la temperatura. Durante el ciclo del cultivo, el Kc se estimó a partir de la relación entre la Etc obtenida mediante el balance de agua y la Eto calculada a través de la Tina de Evaporación Clase A. El estudio se realizó durante el período de noviembre 2011 y septiembre 2012, en un invernadero ubicado en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP) de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Los resultados obtenidos mediante el modelo de temperaturas, indican ser apropiados para la programación del riego en invernadero. Al relacionar ambas evapotranspiraciones la curva del coeficiente del cultivo estimado logra alcanzar un valor máximo de 1,45 y un valor mínimo de 0,91, ajustándose muy bien a los valores obtenidos mediante el modelo de Fernández, *et al.* (2001).

Palabras clave: coeficiente del cultivo, *Capsicum annum L.*, riego, invernadero.

ABSTRACT

The objective of the present work was to estimate the coefficient of the crop (Kc) of *Capsicum annum* for irrigation programming under greenhouse conditions, using the methodology proposed by Fernández, *et al.* (2001) which is to relate it to the development of the crop through temperature. During the crop cycle, the Kc was estimated from the relationship between the Etc obtained by the water balance and the Eto calculated through the

Class A Evaporation. The study was carried out during the period of November 2011 and September 2012, in a greenhouse located at Institute of Agricultural Research (IIAP) of the Faculty of Forestry and Environmental Sciences of the University of Los Andes, Mérida, Venezuela. The results obtained by means of the temperatures model indicate they are appropriated for the programming of irrigation in greenhouse. By relating both, Etc and Eto, the curve of the estimated Kc reaches a maximum value of 1,45 and a minimum value of 0,91, adjusting very well to the values obtained by the Fernández, *et al.*(2001).

Key words: crop coefficient, *Capsicum annuum L*, irrigation, greenhouse.

INTRDUCCION

El cultivo de pimentón es de gran importancia a nivel mundial, debido a que tiene diferentes destinos de consumo, ya sea para consumo en fresco o para procesamiento industrial, debido en gran parte, a la diversidad de variedades, formas, colores, destinos (Mármol, 2010). Además, por su agradable sabor y grandes contenidos de vitaminas A y C, el pimentón pasa a ser un ingrediente valioso y casi esencial en la preparación de alimentos en diferentes países del mundo (Cásseres, 1981). El cultivo de pimentón tiene una característica de perfecta adaptación al clima del invernadero, lo cual, permite su producción durante todo el año, abarcando el calendario de comercialización en los 12 meses del año. (Mármol, 2010).

La producción mundial de pimentón es de unos 25 millones de toneladas siendo el principal productor China con el 56 % de la producción total, seguido de México y Turquía. En la Unión Europea el principal productor de pimentón es España, seguido de los Países Bajos e Italia. Estados Unidos es otro país productor e importador de pimientos, sobre todo de Holanda. (Mármol, 2010).

En Venezuela este cultivo representa un papel importante en la dieta diaria del venezolano, es la solanácea más comestible después de la papa y como condimento después del tomate. (Rodríguez, 2010).

La mayoría de las plantas de pimentón cultivadas en invernadero para consumo en fresco son variedades híbridas procedentes de mejora, siendo éstas más productivas, de gran vigor, uniformidad de planta y frutos, alta producción y calidad (fruto y nutrición) y a las que algunas de ellas se les ha incorporado resistencia a determinadas plagas y enfermedades. (Mármol, 2010).

El manejo adecuado de los factores tanto climáticos como suelo y agua es fundamental para el buen crecimiento y desarrollo de cualquier cultivo, con el fin de obtener un producto de alta cantidad y calidad.

Es importante tener en cuenta que, debido a la creciente escasez de los recursos hídricos y al aumento exponencial de la población, cada día se hace necesario un uso eficiente de este recurso en el sector de riego, por tanto, es necesario conocer los requerimientos hídricos de los cultivos en cada etapa de desarrollo, con la finalidad de lograr máximos rendimientos del cultivo utilizando cantidades óptimas de agua. El pimentón es uno de los cultivos de mayor

exigencia hídrica, su ciclo vegetativo es muy largo y debido a esto el riego es imprescindible para su desarrollo ya que aporta la humedad necesaria para hacer frente a las exigencias hídricas de la planta durante su ciclo vegetativo. Por tanto, es importante conocer y estimar las necesidades hídricas en cada etapa de su desarrollo, con la finalidad de evitar excesos o déficit de agua, los cuales pueden ocasionar daños graves en su desarrollo fisiológico afectando su producción en cantidad y calidad. Mármol, (2010) indica que la cantidad de agua que requiere el cultivo de pimentón durante su ciclo vegetativo es muy variable, ya que este depende de la variedad, fecha de plantación y recolección, tipo de suelo, cantidad y calidad del agua y densidad de plantación.

Bajo condiciones de invernadero, es esencial conocer las demandas hídricas del cultivo de pimentón, dado que la única forma de aplicación de agua que suple las necesidades de las plantas es el riego localizado, que se establece en este tipo de sistemas productivos (Casimilas, H., *et al.* 2012).

Según, Casimilas, *et al.* (2012) indican que la determinación de la evapotranspiración del cultivo, Etc, por su dependencia de los factores biológicos, es más compleja que la determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia, Eto (métodos directos o indirectos) por lo que para su estimación es necesario relacionar la variación de la Eto durante el período de desarrollo del cultivo con mediciones de Etc y las relaciones obtenidas se denominan coeficiente del cultivo, Kc. Dado que es muy difícil determinar teóricamente las relaciones entre Eto y Etc de cada cultivo; en los últimos años se han venido desarrollando modelos matemáticos para estimar el valor del Kc en algunos cultivos dentro del invernadero.

Son pocos los estudios que se han realizado en Venezuela sobre los coeficientes de cultivo de pimentón, por esta razón, el objetivo de esta investigación es estimar el coeficiente del cultivo de pimentón en invernadero utilizando diferentes metodologías, con el fin de lograr una programación eficiente del agua de riego.

METODOLOGIA

Para la presente investigación se utilizó el cultivo de pimentón (*Capsicum annum L.*) híbrido RPP 1216, sembrado en una superficie de 162 m² bajo cobertura, localizada en terrenos del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP) de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, con coordenadas 8°37'37" N y 71°09'19" O. La investigación se llevó a cabo durante los meses de noviembre 2011 y septiembre 2012, la fecha del trasplante del cultivo se realizó el día 29 de noviembre de 2011. Para el trasplante y desarrollo del cultivo durante su ciclo vegetativo, se emplearon bolsas de 13 kg contenidas de sustrato, compuesto de: 50 % de arena y 50 % de compost de caballeriza (concha de arroz más estiércol de caballo, previamente fermentado) y totalmente desinfectado y en el fondo de cada bolsa se agregó 1 kg de piedra número 2, con la finalidad de mejorar el drenaje.

El cultivo se plantó con hilera sencilla a una separación de 0,3 m entre plantas y 0,7m entre hileras, con una densidad de 3 plantas/m². Se utilizó un sistema de riego por goteo, con una frecuencia de riego diaria y un tiempo de riego determinado por el consumo.

El manejo de la fertilización se realizó a través del sistema de riego, inyectando una cantidad definida de solución de fertilizantes en función de la cantidad de riego aplicada diariamente para cada etapa fenológica del cultivo. Para el control de plagas y enfermedades se realizaron labores de monitoreo diarias, y semanalmente se aplicaban dosis mínimas de diferentes productos como medida de prevención. Las prácticas culturales, éstas se realizaron desde el trasplante hasta el final del cultivo.

Para la medición de las variables climáticas dentro del invernadero, se instaló una microestación meteorológica, donde se recopilaron datos de radiación, temperatura y humedad relativa. Igualmente, se instaló dentro del invernadero, una tina de evaporación Tipo A.

Determinación del coeficiente del cultivo, Kc

Jensen *et al.* (1990) describen al coeficiente del cultivo Kc, como el que integra los efectos de tres características primarias que diferencian un cultivo de una pradera de gramínea, tales como: altura del cultivo, resistencia y albedo de superficie suelo-cultivo. Es decir, que los valores de Kc dependen, sobre todo, del cultivo y su manejo. (Fernández *et al.* 2001).

El patrón de Kc de los cultivos hortícolas depende de la temperatura, por lo cual es necesario relacionar los valores de Kc con el desarrollo y crecimiento del cultivo.

Para determinar el coeficiente del cultivo de pimentón dentro del invernadero, Fernández *et al.* (2001) desarrolló dos modelos que relacionan el Kc con el desarrollo del cultivo a través de la temperatura: modelo de Kc-IAF y modelo Kc-Tiempo térmico.

El modelo de Kc-IAF se emplea para los cultivos que se manejan sin podas de formación o deshojados, como judía, melón rastrero, sandía, melón entutorado y calabacín. (Fernández *et al.* 2001).

El modelo Kc-Tiempo térmico se utiliza en cultivos con poda de formación frecuentes, deshojados y destallados, como pimiento, tomate, berenjena y pepino. (Fernández *et al.* 2001).

Este modelo consiste en trabajar con el tiempo térmico acumulado, TTA, expresado a través de la Ecuación 1.

$$TTA = \sum_0^t TT \quad (1)$$

El día cero (0) corresponde a la fecha del trasplante y t es el día actual.

TT, es el tiempo térmico diario, (°C). Este valor se obtuvo con temperaturas máximas (T_{\max}) y mínimas (T_{\min}) diarias y tres (3) valores de temperatura que son característicos del cultivo de pimentón; $T_b = 10$; $T_{op} = 30$; $T_{us} = 40$, (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de temperatura base (T_b), temperatura óptima (T_{op}) y temperatura umbral superior (T_{us}), para cada cultivo

CULTIVO	T_b	T_{op}	T_{us}
Solanáceas	10	30	40
Cucurbitáceas	12	32	42

Fuente: Fernández *et al.* (2001).

Según Fernández *et al.* (2001) para determinar el tiempo térmico diario, los valores de temperaturas deben cumplir lo siguiente:

Si: $T_{m\acute{a}x} < T_{op}$ y $T_{m\acute{i}n} < T_b$

$$TT = \frac{(T_{m\acute{a}x} - T_b)^2}{[2(T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})]} \quad (2)$$

Si $T_{m\acute{a}x} < T_{op}$ y $T_{m\acute{i}n} > T_b$

$$TT = 0,5 * (T_{m\acute{i}n} + T_{m\acute{a}x}) - T_b \quad (3)$$

Si: $T_{m\acute{a}x} > T_{op}$

$$TT = \frac{1}{(T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})} * \left[\frac{(T_{op} - T_{m\acute{i}n})^2}{2} + (T_{m\acute{i}n} - T_b) * (T_{op} - T_{m\acute{i}n}) + \left((T_{m\acute{a}x} - T_{op}) * (T_{op} - T_b) * \left(0,5 + \frac{0,5 * (T_{us} - T_{m\acute{a}x})}{(T_{us} - T_{op})} \right) \right) \right] \quad (4)$$

Una vez obtenido el TTA, se procedió a calcular el valor de Kc mediante el modelo Kc-TTA, propuesto por Fernández *et al.* (2001):

Si $TTA < 200$

$$Kc = 0,2 \quad (5)$$

Si $200 < TTA < 880$

$$Kc = Kc_{min} + 0,00176 * (TTA - 200) \quad (6)$$

Donde el Kc_{min} es el Kc mínimo

Si $TTA > 880$

$$Kc = Kc_{m\acute{a}x} \quad (7)$$

Adicionalmente, se procedió a determinar el coeficiente del cultivo experimentalmente a través de la relación entre Etc y Eto:

$$Kc = Etc/Eto \quad (\text{Allen et al. 2006}) \quad (8)$$

Donde la Etc, se obtuvo utilizando el método de balance de agua a través de la Ecuación 9. (Fernández *et al.* 2001) para esto se seleccionaron varias plantas al azar, donde cada planta seleccionada se colocó sobre una base elaborada con cabilla y debajo de ella una bandeja para captar el agua drenada. Los valores de Eto, se obtuvieron a través de la Ecuación 10. Los datos de la evaporación se tomaron diariamente a través de una Tina de Evaporación clase A, se estimó un valor de Kp de 0,65, tomando como referencia los datos presentados en el libro de la FAO-56.

$$Etc = (W_{t0} - W_{t1}) + R - L \quad (9)$$

$(W_{t0}) - W_{t1}$) es el contenido de agua

R es el riego aplicado con una frecuencia diaria, ml.

L es el lixiviado medido diariamente, ml. (Fernández *et al.*2001)

$$Eto = Ev * Kp \quad (\text{Allen et al. 2006}) \quad (10)$$

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 2 se muestra la fecha en que se realizó el semillero, fecha de siembra, final del cultivo y duración del ciclo del cultivo.

Tabla 2. Fecha de trasplante y duración del ciclo del cultivo de pimentón

Año	Semillero	Trasplante	Final del cultivo	Duración del ciclo
2011-2012	14-oct	29-nov	07-sep	283 DDT

Los valores de Kc obtenidos mediante el modelo propuesto por Fernández *et al.* (2001) en las distintas etapas de desarrollo del cultivo de pimentón se muestran en la Figura 1, considerando en su etapa inicial un valor de Kc igual a 0,2 hasta que el TTA sea mayor a 880 °C y un valor máximo de 1,4. Estos valores

van incrementando a medida que la temperatura aumenta (Figura 2). Se tomó el criterio de mantener el Kc máximo, debido a que la temperatura mínima se mantuvo constante hasta el final del ciclo del cultivo.

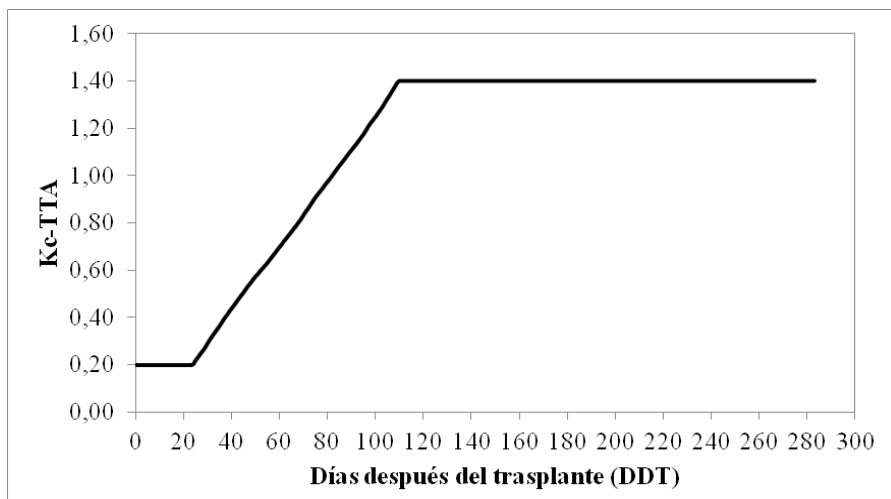


Figura 1. Valores del coeficiente de pimentón obtenidos a través del modelo Kc-Tiempo térmico.

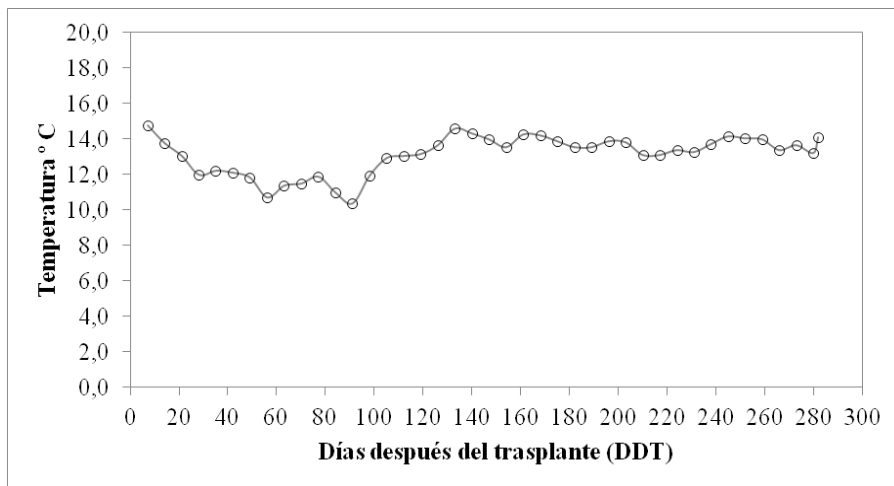


Figura 2. Valores promedio semanales de temperatura mínima, medidos dentro del invernadero.

En la Figura 3, se muestran los valores de Kc-TTA ajustados, donde se consideró que a partir del día 110 DDT hasta el día 168 DDT se tomó un valor máximo de Kc igual a 1,4. A partir del día 169 DDT, el Kc comienza a disminuir

hasta alcanzar un valor de 0,9 siendo este valor constante hasta el final del ciclo.

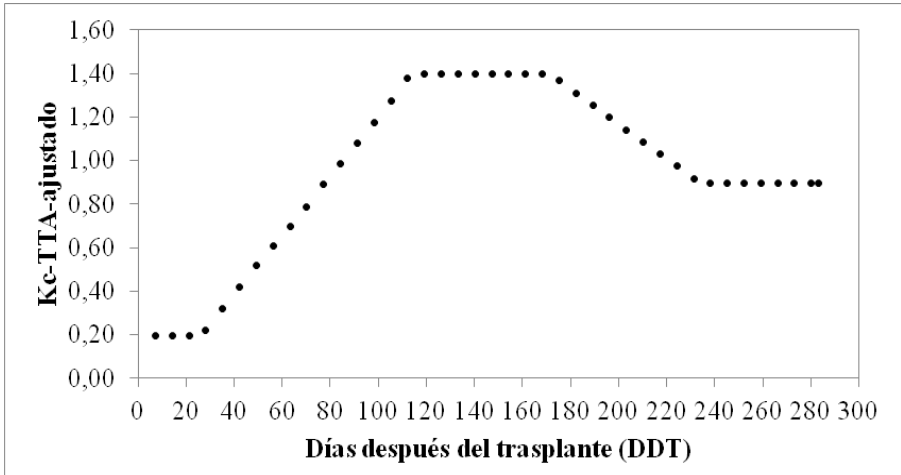
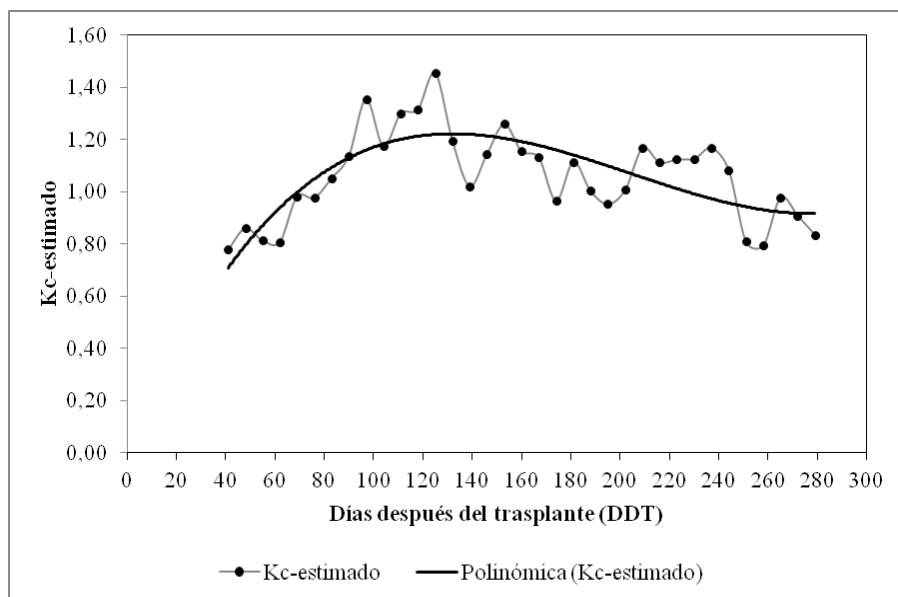


Figura 3. Valores promedio semanales de Kc TTA-ajustado.

También se determinaron valores del coeficiente del cultivo de pimentón a lo largo del ciclo a través de la Ecuación 8. Los valores de Etc se midieron mediante el balance de agua o método de pesada (Ecuación 9) mientras que los valores de Eto se obtuvieron por medio del método de la Tina de Evaporación Clase A. En la Tabla 3 se presentan los valores promedio semanales de la Etc y Eto obtenidos durante el ciclo del cultivo. En la Figura 4, se muestra la evolución del coeficiente del cultivo obtenido por vía experimental a lo largo del ciclo, estos valores fueron ajustados mediante una regresión polinómica de tercer orden, obteniéndose la curva característica del coeficiente para el cultivo de pimentón bajo cobertura. En la Figura 4 se observa que en los primeros 41 días no se tienen valores de Kc, debido a que no se realizaron mediciones por el método de la pesada. A partir del día 42 DDT, la curva comienza a ascender debido al rápido crecimiento del cultivo, logrando un valor máximo de 1,45 y un valor final de 0,91. Los valores experimentales de Kc se ajustan a los obtenidos por el modelo de Kc-TTA. Sin embargo, el Kc máximo comenzó a caer a partir del día 132 después del trasplante. Trabajos realizados (Fernández, *et al.* 2012) obtuvieron valores de Kc máximo de 1,4 y Kc final de 0,9 para el cultivo de pimentón en condiciones protegidas.

Tabla 3. Promedios semanales de los valores de Etc y Eto en mm/d, obtenidos dentro del invernadero.

DDT	Etc	Eto	DDT	Etc	Eto	DDT	Etc	Eto
41	1,14	1,46	125	1,70	1,17	209	1,75	1,50
48	1,10	1,27	132	0,87	0,73	216	1,48	1,33
55	1,16	1,43	139	0,95	0,93	223	1,72	1,53
62	1,20	1,49	146	1,59	1,39	230	1,66	1,47
69	1,35	1,37	153	1,57	1,25	237	1,74	1,49
76	1,66	1,70	160	1,25	1,08	244	1,47	1,36
83	1,86	1,77	167	1,83	1,62	251	1,11	1,38
90	1,79	1,57	174	1,27	1,31	258	1,24	1,56
97	1,87	1,38	181	1,85	1,66	265	1,27	1,30
104	1,58	1,35	188	1,71	1,70	272	2,14	2,36
111	1,15	0,88	195	1,09	1,14	279	1,56	1,87
118	1,66	1,26	202	1,87	1,85			

**Figura 4.** Comportamiento del coeficiente de cultivo de pimentón estimado mediante la relación de Eto y Etc.

CONCLUSIONES

· Los valores del coeficiente del cultivo de pimentón en invernadero obtenidos a través de la metodología propuesta por Fernández *et al.* (2001), fueron apropiados. Sin embargo, es importante acotar que el modelo se puede aplicar

siempre y cuando se realicen los ajustes necesarios con el fin de determinar las demandas hídricas del cultivo de manera eficiente. Se observó que la temperatura ejerce un efecto importante en el crecimiento, desarrollo y duración del cultivo.

- La curva del K_c obtenida a través de la relación entre E_{tc} y E_{to} se ajusta muy bien a la curva del coeficiente del cultivo obtenido por el modelo propuesto por Fernández *et al.* (2001).
- Los coeficientes del cultivo de pimentón determinados mediante el modelo de Fernández *et al.* (2001) fueron: $K_{c_{inicial}}$ 0,2; $K_{c_{máximo}}$ 1,4; siendo constante hasta el final del ciclo del cultivo.
- Los valores del coeficiente del cultivo estimados a través de la relación E_{tc} y E_{to} fueron de 1,45 como valor máximo y 0,91 como valor final.
- Los resultados obtenidos del coeficiente del cultivo de pimentón constituyen información base para continuar con investigaciones en diferentes zonas y con diferentes híbridos, a fin de mejorar los ajustes en la optimización del agua para riego bajo invernadero.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico CDCHT-ULA, por el aporte financiero prestado al proyecto bajo el código VA-07-12-01-EM.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua en los cultivos. Publicación de la FAO-56 (Español). Serie de Riego y Drenaje. Roma, Italia. 7, 12, 18, 78, 79, 81, 84 pp.
- Cásseres, E. 1981. Producción de hortalizas. 3 ed. San José de Costa Rica. IICA. 295 p.
- Casilimas, H.; Monsalve, O.; Bojacá, C.; Gil, R.; Villagrán, E.; Arias, L.; Fuentes, L. 2012. Manual de producción de pimentón bajo invernadero. Editorial Gente Nueva. Universidad de Bogotá, José Tadeo Lozano. Colombia.
- Fernández, M.D.; Orgaz, F.; Fereres, E.; López, J.C.; Céspedes, Pérez, J.; Bonachela, S.; Gallardo, M. 2001. Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español. Editorial (Caja Rural de Almería y Málaga). 71 pp.

- Fernández, M. D.; Thompson, R. B.; Bonachela, S.; Gallardo, M.; Granados, M. R. 2012. Uso del agua de riego en los cultivos de invernadero. Cuaderno de estudios agroalimentarios (CEA03). Fundación Cajamar y Universidad de Almería. 120 p.
- Gómez, A., Rojas, H., Vallejo y F., Estrada, E. 2010. Determinación del requerimiento hídrico del pimentón en el municipio de Candelaria, departamento del Valle del Cauca. Revista en línea. Universidad Nacional de Colombia. Volumen 59, Número 4, p. 442-448. Disponible en: https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/20128/21215.
- Jensen, M. E.; Burman, R. D.; Allen, R. G. 1990. Evapotranspiración and Irrigation Water Requirements. ASCE Manual N° 70.
- Mármol, J. 2010. Cultivo del Pimiento dulce en Invernadero. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Editorial: Signatura Ediciones de Andalucía, S.L.
- Rodríguez, R. 2010. Efecto del riego deficitario controlado en el cultivo de pimentón (*Capsicum annuum L.*) bajo riego localizado en la localidad de San Juan de Lagunillas, Mérida, Venezuela. Tesis de Maestría. Universidad de los Andes. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela. 103, 113 pp.
- Secretaría de agricultura y Recursos Hidráulicos. 1986. Lisimetría. Estudios de Evaporación. México.
- Valera, C. 2013. Programación y Manejo del Riego Localizado, en el cultivo de pimentón (*Capsicum annuum L.*) mediante tres métodos de estimación de la evapotranspiración en condiciones de invernadero, Santa Rosa, Mérida, Venezuela. Tesis de Maestría. Centro Interamericano de Desarrollo Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.