

Determinación experimental de la curva del coeficiente de cultivo (Kc) del ají tabasco (*Capsicum annuum*) en la vereda de Guacas, municipio de Guacarí (Valle)

Juan Fernando Herrera Guardiola¹; Norberto Urrutia Cobo¹

¹Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente - EIDENAR- Universidad del Valle -Sede Meléndez- Calle 13 #100-00 Edificio 344, 2°. Piso, Cali, Valle del Cauca

Aceptado 4 de Septiembre de 2015

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la evapotranspiración del cultivo (ETc) y el coeficiente de cultivo (Kc) del ají tabasco (*Capsicum annuum*), fue desarrollado un experimento en predios de la asociación Asoguaqueños, ubicados en la vereda de Guacas en el municipio de Guacarí, durante los meses de septiembre de 2014 a febrero de 2015. Para estimar la ETc fueron utilizados tres (3) lisímetros de drenaje. La evapotranspiración de referencia (ETo) fue estimada por el método de Penman-Monteith (FAO) con ayuda del software Cropwat, siendo el coeficiente de cultivo del ají dado por la relación: $Kc = ETc/ETo$, en cada una de las fases de desarrollo. Los valores de Kc obtenidos presentaron un comportamiento creciente durante todo el periodo vegetativo y decrecimiento en la maduración y cosecha. Estos valores fueron 0,70 (fase inicial), 1,51 (fases de desarrollo, floración e desarrollo de frutos) y 1,30 (fases de maduración y cosecha).

Palabras claves: Coeficiente de cultivo, Ají Tabasco, Evapotranspiración, Lisímetros de drenaje.

ABSTRACT:

Aiming on determine the evapotranspiration (ETc) and crop coefficient (Kc) for Tabasco hot pepper (*Capsicum annuum*), an experiment was carried out at Asoguaqueño's area located in Guacas county, Valle del Cauca state, Colombia, during the period from September 2014 to February 2015. To estimate ETc were used three (3) drainage lysimeters. The reference evapotranspiration (ETo) was determined by the FAO Penman-Montheith equation, using Cropwat software. Crop coefficient was obtained by the ratio between ETc and ETo at different stages of plant development. The obtained Kc values represents an increase throughout plant vegetative growth and decrease during the period from ripening to harvest. These values were 0,70 (initial phase), 1,51 (Development, flowering and fruit production phases) and 1,30 (ripening and harvest phases).

Key words: Crop coefficient, Tabasco pepper, Evapotranspiration, Drainage lysimeters.

1. INTRODUCCIÓN

El éxito de la agricultura irrigada se da a través del estudio de diversas variables antes de dar inicio a un proyecto de riego. Entre otras variables

se destacan el buen dimensionamiento del sistema agua-suelo-planta y el manejo del riego, y para ello es fundamental conocer parámetros básicos como la evapotranspiración de referencia

(ET_o), la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y el coeficiente del cultivo (K_c).

En una superficie vegetada ocurren simultáneamente los procesos de evaporación y transpiración (evapotranspiración ET), donde el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y otra parte por transpiración del cultivo. Por tal motivo es un parámetro importante en la determinación de las necesidades hídricas del cultivo.

Según Allen *et al.* (2006), relacionar la ET a una superficie específica permite contar con una referencia a la cual se puede relacionar la evapotranspiración de otras superficies y además se elimina la necesidad de definir un nivel de evapotranspiración para cada cultivo y período de crecimiento. Por esta razón surge la ET_o que es la ET de un cultivo con una superficie de referencia que se encuentra a unas condiciones específicas determinadas.

La ET_c se refiere a la ET que presenta un cultivo en condiciones óptimas de contenido de humedad y manejo de suelo aportando la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas.

Estos parámetros básicos dependen de datos meteorológicos, factores de cultivo y de suelo que pueden ser medidos directamente por lisímetros o indirectamente con ecuaciones combinadas.

Los lisímetros son tanques o cajas que contienen un volumen de suelo que permiten medir, de forma directa, términos del balance hídrico, entre ellos la ET_c, ya que aíslan la zona radicular del cultivo para tener un control más riguroso y adecuado de las condiciones del sistema suelo-agua-planta (Da Silva, 2012).

Entre las ecuaciones que son utilizadas, la FAO recomienda la ecuación de Penman-Monteith para determinar la ET_c que es obtenida diariamente en unidades de milímetros de agua perdida (mm/día).

La razón entre la ET_c y la ET_o se conoce como el coeficiente de cultivo (K_c) y representa la integración de efectos de características como la altura del cultivo, la evaporación del suelo, la resistencia del cultivo y el albedo (reflectancia) de la superficie del cultivo y suelo que distinguen el cultivo estudiado del cultivo de referencia que es el pasto (Pereira & Allen, 1997, citado por Miranda *et al.*, 2005). Por lo tanto, y debido a la importancia de este coeficiente, es recomendable que sea determinado para condiciones locales donde será utilizado el K_c.

Las especies *Capsicum*, según Doorenbos & Kassam (2000, citado por Chaves *et al.*, 2005), generalmente tienen un ciclo de 120 a 150 días y

consumen de 600 a 1250 mm de agua, dependiendo de las condiciones climáticas y de la variedad. Para Chaves *et al.* (2005), los valores de K_c obtenidos en el cultivo de ají tabasco en la región del nordeste de Brasil fueron 0,96 en la fase inicial, 1,29 para el fase de desarrollo, floración y producción de frutos, y 1,24 para la fase final que comprende la maduración y cosecha.

A pesar de tener como referencia estos valores de coeficiente de cultivo, la FAO en su edición 56 no presenta valores específicos del coeficiente K_c para el cultivo del ají tabasco. Por esta razón y debido a la importancia del ají para el desarrollo de la región, por ser considerado por el Plan Hortícola Nacional (PHN) como uno de los cultivos más atractivos a nivel nacional, el objetivo de este trabajo es estimar la curva del coeficiente del cultivo (K_c) del ají tabasco (*Capsicum annuum*) en condiciones edafo-climáticas de la vereda Guacas en el municipio de Guacarí (Valle del Cauca), utilizando tres lisímetros de drenaje para la obtención de la evapotranspiración real del cultivo ET_c y la fórmula Penman-Monteith para el cálculo de la ET_o.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo fue desarrollado al interior del grupo de investigación REGAR de la Universidad del Valle, y hace parte del proyecto "Desarrollo de un sistema agroindustrial rural competitivo en una bioregión del Valle del Cauca" financiado por el Sistema General de Regalías.

La parcela donde se desarrolló el proyecto cuenta con un área de 0,7 hectáreas, dividida en 5 lotes cuyos propietarios pertenecen a la asociación ASOGUAQUEÑOS localizada en la vereda Guacas en el municipio de Guacarí (Valle del Cauca) con coordenadas 3,79 latitud Norte y 76,33 de longitud Oeste. Se encuentra a 966 m.s.n.m en la región occidental de Colombia, en el centro del departamento del Valle del Cauca con una temperatura media de 25 °C.

Dentro del análisis físico de suelos de la parcela, se encontraron suelos arcillosos con valores promedios de 34% de arenas, 22% limos, 44% de arcillas y una densidad aparente promedio de 1,26 (g/cm³) ideal para el desarrollo del ají.

2.1 DETALLES DEL CULTIVO

Se cultivó la especie de ají Tabasco (*Capsicum annuum*.) suministrada por la

empresa Hugo Restrepo y Asociados y la siembra fue realizada el 8 de agosto de 2014 en un invernadero en la ciudad de Palmira.

El 6 de octubre se realizó el trasplante en los 5 lotes de la parcela y el 7 de octubre se trasplantaron las plántulas de los lisímetros.

Para tener un control de malezas sobre el cultivo, se utilizó el herbicida Finale junto al coadyuvante no ionico Inex-A.

De igual forma se aplicó de manera foliar nitrato de calcio, Cosmo ion Boro, Kelatex Hierro Fe, Kelatex Zinc Zn, Sulfato de magnesio como fertilizantes.

Tanto la planta como el sistema radicular del cultivo del ají tienden a ser afectados por hongos, muchas veces debido al alto contenido de humedad sobre el suelo, por lo tanto se aplicaron los fungicidas Vitavax, Ridomil, Manzate, Kasumin y Prevalor. Para promover el desarrollo radicular se suministró Rafos, Microrenti y Rootex.

Según la Corporación Colombiana Internacional (2007), el cultivo de ají en Colombia es afectado por plagas como la mosca blanca, trips, trotadores y hongos como el cercospora. Para ello se aplicaron insecticidas como Lorsban, ciperitrina, imidacloprid.

La cosecha inició el día viernes 7 de febrero y estuvo a cargo de los integrantes de la asociación. Se registró una producción de 5894 kg durante el mes de febrero y marzo, obteniendo un rendimiento de 8,4 t/ha.

2.2 LISÍMETROS (INSTALACIÓN Y ESTABLECIMIENTO)

La ETC del ají tabasco se determinó utilizando 3 lisímetros de drenaje con un área de superficie de 0,25 m² (dimensión de la superficie 0,5 m por 0,5 m) y una profundidad de 0,5 m instalados sobre las líneas de surco del cultivo repartidos en 3 de los 5 lotes de la parcela. En la parte inferior de los lisímetros se instaló una bandeja para contener el volumen de agua drenado por los lisímetros y además la capa inferior del volumen del lisímetro contenía grava para facilitar el drenaje. El suelo aplicado en los lisímetros fue tomado del surco y se mantuvo la estratigrafía original del suelo.

En cada lisímetro se instalaron dos tensiómetros con el objetivo de monitorear y medir el contenido de humedad a una profundidad de 15 y 30 cm. Mediante el uso de los tensiómetros se midió el potencial mátrico (ψ_m) y el potencial gravitacional (ψ_g) que permiten conocer la tensión que ejerce el agua

sobre el suelo, es decir, se evaluó la variación en el contenido de humedad del suelo. Para ello se determinó la curva de retención de humedad de las muestras de suelo de cada lisímetro mediante el software RETC versión 6.02. que estima la curva con la textura, densidad aparente y porcentaje de arenas, limos y arcillas.

El rango de tensiones que se estudió en el presente proyecto fue comprendido desde la tensión relacionada a la humedad a capacidad de campo hasta una tensión de 100 KPa que es el valor máximo que registran los tensiómetros. Se determinó entonces la capacidad de campo para las muestras de suelo de los 3 lisímetros a 2 profundidades: 15 y 40 cm con el fin de mantener el cultivo en un estado de ideal de humedad para el desarrollo de las plantas. Las muestras de suelo fueron analizadas en el laboratorio de Aguas y Suelos Agrícolas (LASA), y en él se realizaron las pruebas de capacidad de campo mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1:

$$CC = \frac{PSD - PSS}{PSS} * 100$$

2.3 RIEGO EN LISÍMETROS

La metodología de riego empleada en los lisímetros fue diferente al riego localizado de alta frecuencia utilizado para el resto del cultivo. En los lisímetros se realizó el riego de forma manual con ayuda de un recipiente con medición de volumen (ml) y aplicando la cantidad el agua directamente a la superficie de suelo a regar dentro del lisímetro.

Teniendo la curva de retención de humedad y el contenido de humedad a capacidad de campo, se determinó el contenido de humedad almacenado en los lisímetros. Para ello se hizo un seguimiento a las características fisiológicas de la planta durante su desarrollo fenológico para evaluar su comportamiento y de esta manera estimar la superficie y el volumen a regar del suelo que varía según la fase de desarrollo de la planta. Se evaluó la profundidad efectiva radicular, el crecimiento de la planta y el diámetro de sombra proyectada. Esta área de sombra resulta ser la superficie a regar y multiplicada por la profundidad radicular se obtiene el volumen a regar. Al multiplicar el volumen a regar por el contenido de humedad volumétrico (%) resulta el contenido de humedad en unidad de volumen (ml).

Finalmente la cantidad de agua a regar para cada lisímetro y cada fase de desarrollo resulta de la diferencia entre el contenido de humedad a

capacidad de campo (ml) y el contenido de humedad referente a una tensión X luego de n días de consumo (ml):

Ecuación 2:

$$Cantidad\ a\ regar = WC_{cc} - WC_x$$

Los volúmenes de agua aplicados fueron registrados para su posterior análisis en el balance hídrico del suelo de los lisímetros.

2.4 BALANCE HÍDRICO

La ETc se representa como el cambio del contenido de humedad almacenado en el lisímetro y se determinó teniendo en cuenta la siguiente ecuación de balance hídrico del suelo:

Ecuación 3

$$ETc = R - D \pm \Delta SW = R - D \pm (w_i - w_f)$$

Donde R es el riego (mm), D es la cantidad de agua drenada del lisímetro (mm) y ΔSW el cambio de humedad almacenado (mm) representado como la diferencia entre el contenido de humedad inicial (w_i) que es capacidad de campo y (w_f) que equivale a la humedad del suelo luego de n días de consumo, siendo n una constante definida de acuerdo al método de riego, en este caso riego localizado de alta frecuencia (RLAF), es decir $n < 4$ días.

2.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Evapotranspiración de referencia (ETo)

Para la determinación de la ETo se utilizó la ecuación de Penman-Monteith de la FAO (Ecuación 4) mediante el software Cropwat tomando como referencia los datos climáticos obtenidos en tiempo real de una estación climática portátil que se descargaron por medio del software WeatherLink 6.0.3. La estación fue instalada dentro del predio e inició la toma de datos el 9 de Octubre de 2014 y finalizó el día 21 de Febrero de 2015 y el registro estuvo programado para tomar datos cada 2 horas.

Dentro de los datos registrados por la estación, los más relevantes y que fueron utilizados para el desarrollo y análisis del presente proyecto fueron: temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C), humedad exterior (%), velocidad del viento (Km/hr), insolación (horas de sol) y precipitación (mm).

Con estas variables registradas, se determinó diariamente la ETo por medio del software Cropwat de la FAO.

Ecuación 4:

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

Donde: ETo es la evapotranspiración de referencia (mm/día), R_n es la radiación neta de la superficie del cultivo ($MJ\ m^{-2}day^{-1}$), G es el flujo de calor del suelo ($MJ\ m^{-2}day^{-1}$), T es la temperatura media del aire a 2 m de altura (°C), u_2 es la velocidad del viento a 2 m de altura ($m\ s^{-1}$), e_s es la presión de vapor de saturación (kPa), e_a es la presión real de vapor (kPa), $(e_s - e_a)$ es el déficit de presión de vapor (kPa), Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor ($kPa^{\circ}C^{-1}$), γ es la constante psicrométrica ($kPa^{\circ}C^{-1}$), y 0.408 es el factor de conversión de $MJ\ m^{-2}day^{-1}$ a la evaporación equivalente en $mm\ day^{-1}$ (Allen et al., 1998).

Evapotranspiración de cultivo (ETc)

La ETc se determinó para cada fase del ciclo vegetativo del cultivo, y se calculó a partir de la ecuación 3 como un cambio en la humedad del suelo confinado por el lisímetro, donde el contenido de humedad inicial: es capacidad de campo; y la humedad final: el consumo de la porción del suelo que se determinó por la curva de retención de humedad del suelo medida por los tensiómetros. De esta manera el riego en el lisímetro es el suministro de la cantidad de agua consumida y el drenaje el volumen de agua que percola del sistema suelo-planta.

No obstante, de la ecuación 3 resulta la ETc como un volumen de riego o consumo hídrico del suelo y la planta. Para obtener ETc en unidades de lámina, se divide el volumen (L) por el área equivalente al volumen de control confinado por el lisímetro que es de $0,25\ m^2$ y resulta de las dimensiones del lisímetro.

2.6 COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc)

El coeficiente de cultivo k_c se calculó para un periodo de cada 5 días en las fases fenológicas del ají utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 5:

$$Kc = \frac{ETc}{ET_o}$$

Finalmente, con los valores promedios de cada una de las fases del ciclo del cultivo, se construyó la curva del coeficiente de cultivo para el ají tabasco para condiciones edafo-climáticas propias del Valle del Cauca.

2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos registrados de ETc para cada lisímetro fueron analizados con una prueba no paramétrica por medio del software SPSS mediante el test de Friedman el cual, al ser estudiados los 3 ensayos y posteriormente ser comparados en parejas, se determinó que los datos del lisímetro 2 presentan una diferencia estadística significativa respecto a los datos de los otros lisímetros. La significancia entre los datos de ETc de los lisímetros 1 y 3 fue de $p=0.143$ superando el nivel de significancia fijado (0.05) el cual confirma que el conjunto de datos no presentan diferencias estadísticas significativas.

Comprobando con el desarrollo fenológico de la planta correspondiente al lisímetro 2, se presentaron diferentes dificultades entre ellas el marchitamiento en 2 oportunidades de la planta. Por esta razón se decide continuar con los datos obtenidos en los lisímetros 1 y 3 para el respectivo análisis de los resultados.

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ETo)

La variación de la ETo respecto a los días después del trasplante es presentada en la Figura 1. Se puede observar que los valores de ETo se mantuvieron en un rango entre 3,24 a 5,30 mm, reflejando cierta semejanza durante el ciclo de 105 días. La variación fue de 2,06 mm

donde la ETo más baja fue de 3,24 mm que se presentó el 24 de enero de 2015 y la ETo más alta fue de 5,30 mm presentándose el 6 de noviembre del 2014.

En la Tabla 1 se presentan los valores promedios mensuales de las variables climatológicas medidas por la estación para el caso de la temperatura mínima, máxima, humedad, velocidad del viento e insolación. Los datos obtenidos por Cropwat son de radiación solar y evapotranspiración de referencia. Estos valores representan a los registrados desde el inicio del proyecto hasta su finalización.

3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO

Por medio del software libre RETC versión 6.02, se crearon las curvas de retención de humedad para las muestras de suelo de los 3 lisímetros estudiados utilizando el modelo matemático de Van Genutchen.

Teniendo definidas las curvas de retención de humedad del suelo se estableció el contenido de humedad volumétrico que presenta éste en cualquier momento al medir en el campo la tensión con que el agua está retenida (Jaramillo, 2002). Estos valores inician a partir del contenido de humedad a capacidad de campo hasta el contenido de humedad relacionado a una tensión de 100 KPa.

En el laboratorio de suelos y aguas agrícolas (LASA) de la Universidad del Valle se determinó el contenido de humedad en base a masa de la capacidad de campo de las muestras de suelo.

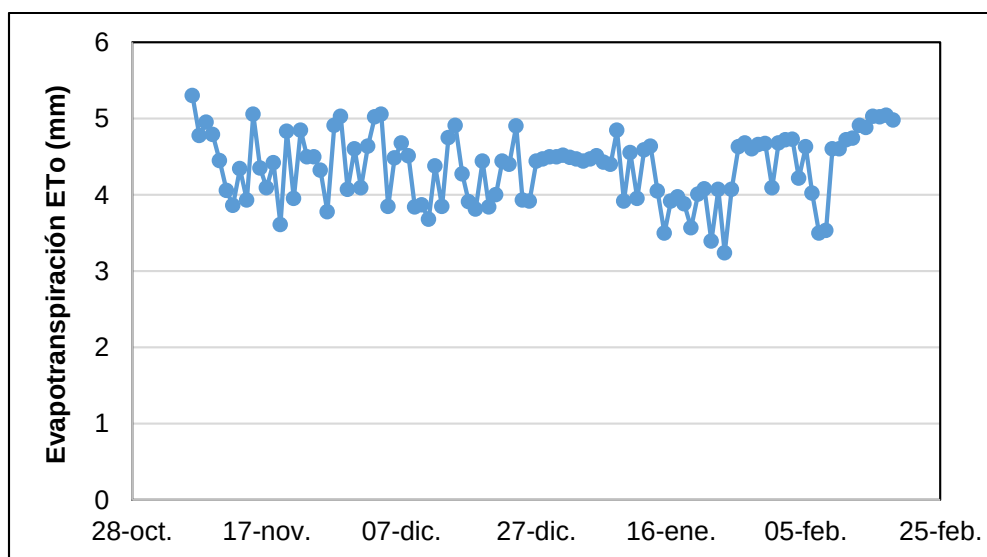


Figura 1. Evapotranspiración de referencia (ETo).

Tabla 1. Promedio de las variables climatológicas durante los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero.

VARIABLE CLIMATOLÓGICA	NOV/2014	DIC/2014	ENE/2015	FEB/2015
Temperatura Mínima (°C)	19,0	19,2	18,9	19,9
Temperatura Máxima (°C)	30,0	31,5	32,2	31,9
Humedad (%)	80,0	78,0	76,0	75,0
Velocidad del Viento (Km/día)	35,0	23,0	15,0	20,0
Insolación (Horas)	9,9	9,6	9,0	9,4
Radiación Solar (MJ/m²/día)	23,4	22,4	22,0	23,4
ETo (mm/día)	4,48	4,32	4,22	4,62

3.3 DESARROLLO FENOLOGICO DEL AJÍ

El trasplante de las plántulas de ají en los lisímetros se realizó el día 7 de octubre. A los 29 días de ser trasplantadas se inició el registro de datos y el seguimiento al desarrollo radicular y fisiológico de las plantas. En la tabla 2 se presenta el desarrollo de la profundidad radicular efectiva el cual permite determinar el volumen de suelo a ser regado.

De igual forma se analizó el desarrollo fisiológico de la planta. Basado en este aspecto se estimó el área de influencia para la aplicación del riego sobre la superficie del lisímetro.

De esta manera, el volumen de suelo que será regado es representado como el producto entre la profundidad efectiva y el área de influencia. Los valores de volumen iniciaron en el primer ciclo con 589 ml y finalizó en la fase de cosecha con un volumen de 56991 ml.

3.4 CONSUMO HÍDRICO (ETC)

Teniendo en cuenta la ecuación 3, donde se resume la ETC como un cambio de humedad W

del suelo, se determinó la evapotranspiración del cultivo en cada una de las plantas de los lisímetros que se encontraban en un volumen de control. De esta forma la ETC resulta de la razón entre los volúmenes de riego registrados diariamente en cada uno de los lisímetros y el área equivalente al volumen de control confinado por el lisímetro, es decir:

Ecuación 4:

$$ETc (mm) = \frac{\text{Volumen de riego (L)}}{\text{Área equivalente (m}^2\text{)}}$$

En la Figura 2 se presenta ETC determinada para cada 5 días del promedio entre los lisímetros 1 y 3, junto a la ETO. Los datos se registraron durante 117 días en un ciclo que inició en el día 15 después del trasplante hasta el día 134.

En general, los valores de ETO fueron muy parecidos durante todo el ciclo que inició justamente al finalizar la temporada de lluvias (Octubre- noviembre) y donde la temporada seca (Diciembre-Febrero) estuvo afectada por lluvias ocasionales evitando grandes diferencias climáticas.

Tabla 2. Desarrollo radicular del cultivo de ají de acuerdo a las fases fenológicas del cultivo.

FASE FENOLOGICA	DESCRIPCIÓN	DÍAS DESPUÉS DE TRASPLANTE	PROFUNDIDAD EFECTIVA RADICULAR (cm)		
			INICIO	MEDIO	FIN
I	Siembra hasta cubrir 10% de la superficie del suelo.	1	10	12,5	15
II	Finaliza hasta antes de la floración, que corresponde a un intervalo del 70 al 80% de la cobertura vegetal.	25	15	20	25
III	Corresponde al periodo de floración y desarrollo de frutos.	45	25	30	35
IV	Periodo de maduración, comprendida entre el fin de la fase III y la cosecha.	100	35	37,5	40

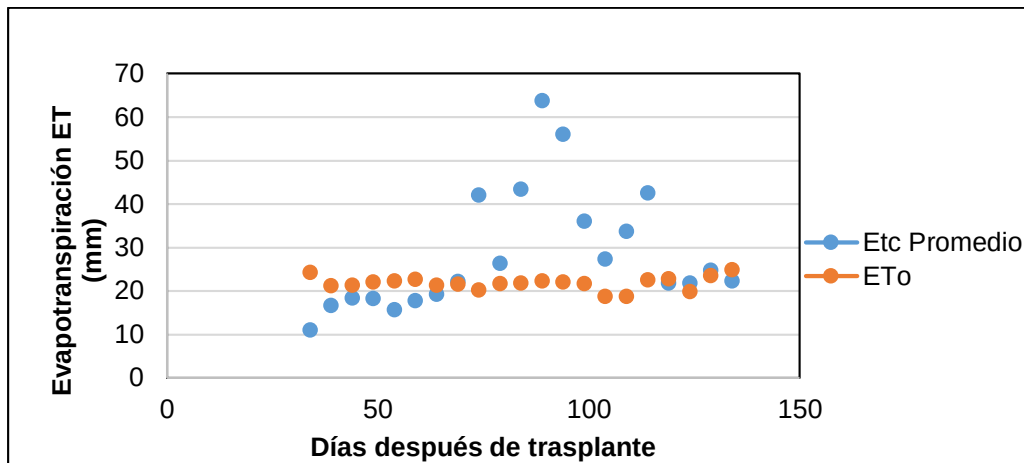


Figura 2. Evapotranspiración de referencia (ETo) y de cultivo (ETc) en los 3 lisímetros y su promedio.

Por otro lado, en la ETc si se presentó gran variabilidad durante el ciclo. En los 2 lisímetros, durante las primeras fases fenológicas del cultivo, la evapotranspiración fue menor que en fases de desarrollo y floración (Fase 3) donde se registraron los valores más altos de ETc durante un periodo entre 70 DDT hasta 100 DDT. Luego de producir el fruto (durante la maduración), la evapotranspiración disminuye hasta llegar a la cosecha.

Este comportamiento se asemeja al obtenido por Miranda *et al.*, (2005), donde los valores máximos de ETc ocurrieron desde 80 DDT hasta 100 DDT durante la floración y desarrollo del fruto y luego decrecieron hasta la fase de cosecha.

La evapotranspiración acumulada de ETo y ETc durante el ciclo total de 105 días, que inicia a los 34 días después del trasplante y finaliza a los 134, es ilustrada en la Figura 3.

La ETo total acumulada determinada en este estudio fue de 458,57 mm y en el caso de la ETc fue de 601,81 mm que representa las necesidades hídricas del cultivo de ají tabasco para un ciclo de 134 días después de ser trasplantadas. Este valor se encuentra dentro del rango mencionado por Doorenbos *et al.*, (1979) donde determinaron que para el cultivo de ají, la ETc acumulada durante su ciclo vegetativo puede variar en un rango entre 600 a 1250 mm dependiendo de la región climática y la variedad del ají.

No obstante, en otro estudio realizado por Miranda *et al.*, (2005), encontraron un valor de ETc acumulado de 888 mm, sin embargo fue determinado durante un ciclo de 300 días para condiciones edafo-climáticas del nordeste de Brasil.

Finalmente Owusu *et al.*, (2010) determinaron que el cultivo de ají tabasco requiere de 587,48

mm de agua durante un ciclo de 120 días para una zona de estudio en la ciudad de Cape Coast en Ghana.

Este último dato de ETc acumulado se asemeja al obtenido en el presente estudio (601,81 mm) debido a que los respectivos estudios se realizaron durante mismo periodo de tiempo (100-120 días). Así mismo, si el estudio se prolongara a un ciclo de 300 días, seguramente coincidiría con los datos obtenidos por los anteriores autores.

3.5 COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc)

Teniendo ya los datos de ETc y ETo, de la ecuación 4 resulta el coeficiente de cultivo Kc como la razón entre estos dos valores.

El registro de datos inició el día 6 de noviembre de 2014 y para esta fecha las plantas de los lisímetros 1 y 3 ya tenían 29 días de ser trasplantadas registrando valores a partir de la fase II. De esta forma, el primer dato de Kc a cada 5 días en los lisímetros 1 y 3 se dio a los 34 días después del trasplante.

En la Figura 4 se presenta el promedio de los valores de Kc obtenidos de los lisímetros 1 y 3 relacionados a los días después de trasplante. En cada una de las curvas se ajustó una línea de tendencia polinómica de orden 2 con el fin de asemejar el comportamiento de la variación del Kc respecto al tiempo. De igual forma, en las curvas se presenta el coeficiente de correlación lineal R. En general, los valores de R representan una buena correlación entre las variables mostrando cierta confiabilidad en el modelo polinómico de orden 2 propuesto. El valor de R obtenido es de 0,738.

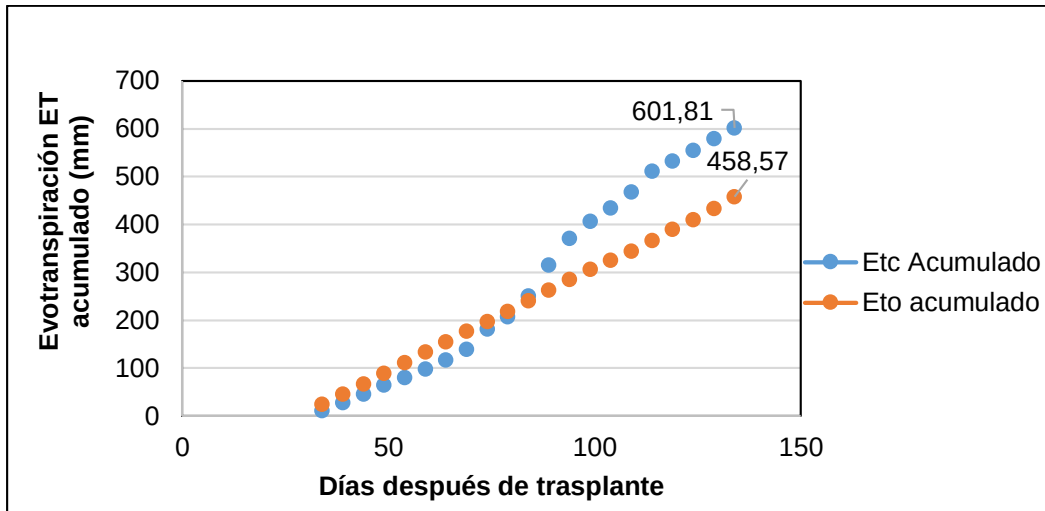


Figura 3. Evapotranspiración de referencia ETo y de cultivo ETc acumulado.

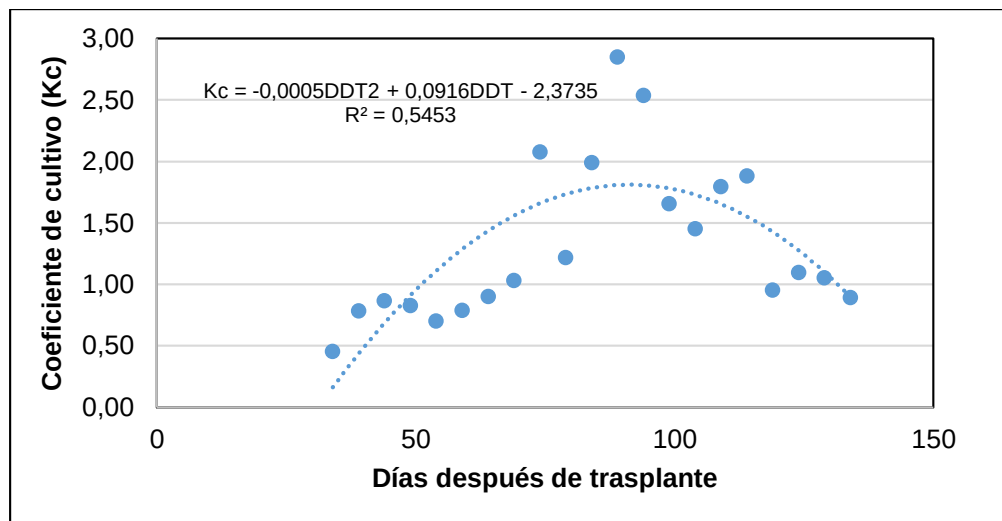


Figura 4. Coeficiente de cultivo del promedio de los lisímetros 1 y 3.

Los valores encontrados para los coeficientes de cultivo (Kc) del ají tabasco varían de acuerdo a las fases fenológicas del cultivo.

En el estado de Alagoas, región nordeste de Brasil, Santos et al., (2014) determinó el coeficiente de cultivo (Kc) estimado por el método Penman-Monteith de la FAO a los 15, 30, 45, 65 y 75 días después del trasplante. Estos valores son: 0.57, 0.63, 1.62, 1.37, 0.68 respectivamente.

Por otro lado, el coeficiente Kc para la fase I, II, III y IV durante un ciclo de 120 días fueron 0.47, 0.86, 1.42 y 0.91 respectivamente para la zona de estudio en la ciudad de Cape Coast en Ghana (Owusu et al., 2010).

Promediando los valores, se obtuvo en el presente estudio un Kc durante la fase II de 0,70

en un período de 30 a 44 días después del trasplante y tiene un comportamiento creciente que continua en la fase de floración y desarrollo de frutos (Fase III) donde obtiene los valores más altos de Kc. El valor promedio para esta fase es de 1,51 (45-99 DDT). Finalmente se presentan valores decrecientes para la última fase de maduración de frutos y cosecha (Fase IV) obteniendo en promedio un valor de 1,30 en un periodo de 100 a 134 DDT.

Estos valores difieren en la primeras fases a los determinados por Chaves et al., (2005), cuyos valores de Kc para las fases I, II, III y IV fueron de 0,96 (0 a 25 DDT), 1,13 (25 a 75 DDT), 1,29 (75 a 120 DDT) y 1,24 (120 a 135 DDT) respectivamente. La diferencia de valores en las

primeras fases puede ser debido a que justamente en estas fases no se obtuvieron suficientes datos como en las otras fases ya que el registro de datos de los lisímetros inició durante la segunda fase del cultivo a los 34 días de haber sido trasplantados.

La metodología aplicada para la construcción de la curva de coeficiente de cultivo Kc fue la propuesta por la FAO. En ella, los valores de Kc se dividen en cada uno de las fases fenológicas del cultivo y posteriormente se toma para cada fase un valor promedio. Luego se construye la curva obteniendo 3 valores de Kc: inicial, medio y final.

En la Figura 5, se presenta la curva del coeficiente de cultivo resultante del promedio de los datos obtenidos en los 2 lisímetros.

Los valores de $K_{c_{ini}}$, $K_{c_{med}}$ y $K_{c_{fin}}$ resultantes en esta curva de coeficiente de cultivo son 0,7, 1,51 y 1,30 respectivamente (Tabla 3). Los máximos valores de Kc obtenidos (1,51) se presentaron a partir de los 45 días después del

trasplante, que corresponde a la fase de floración y desarrollo de frutos. Luego a partir de los 100 DDT, el coeficiente de cultivo disminuyó hasta 1,30 finalizando en el periodo de cosecha a los 134 DDT. Estos valores obtenidos son cercanos con los reportados por la FAO en el Manual de Riego y Drenaje #56 (Allen *et al.*, 1998). No obstante, es importante mencionar que los datos presentados por la FAO corresponden al cultivo de ají morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivado en regiones áridas del mediterráneo europeo.

Por otro lado, Miranda *et al.*, (2005) determinaron la curva de Kc para el cultivo de ají tabasco en la región del nordeste de Brasil. Los valores de $K_{c_{inicial}}$, $K_{c_{medio}}$ y $K_{c_{final}}$ obtenidos son respectivamente 0,30, 1,22 y 0,65. Estos valores se acercan más a los obtenidos en el presente proyecto debido a que la región del nordeste de Brasil tiene condiciones edafoclimáticas similares a las del Valle del Cauca, además la especie de estudio es la misma (Ají tabasco).

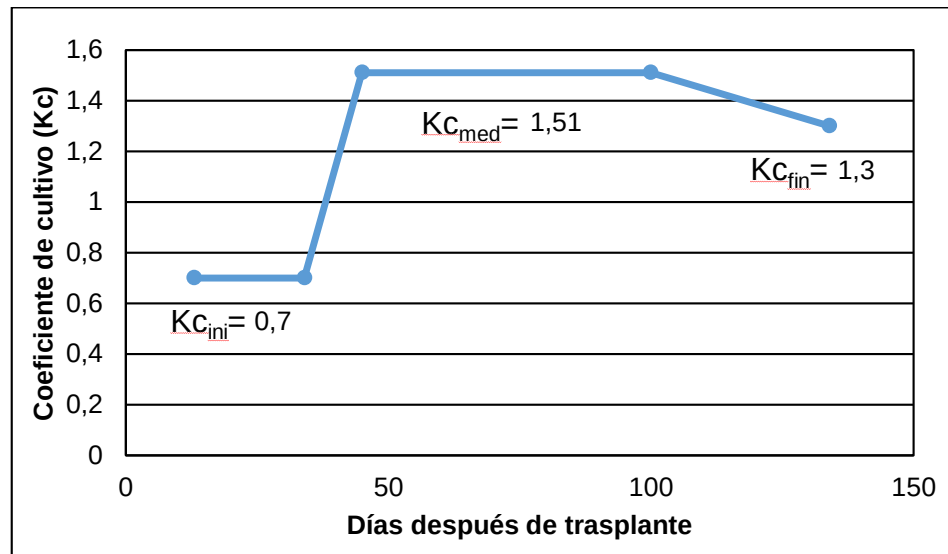


Figura 5. Curva coeficiente de cultivo (Kc) resultante del promedio entre los datos obtenidos de los 2 lisímetros.

Tabla 3. Coeficiente de cultivo (Kc) obtenidos para la región del Valle del Cauca y los reportados en el Manual Riego y Drenaje #56 de la FAO (Allen *et al.*, 1998).

FASE DESARROLLO	VALORES DE Kc OBTENIDOS ¹	VALORES DE Kc REPORTADOS POR LA FAO ²
Inicial	0,70	0,3
Medio	1,51	1,05
Final	1,30	0,9

¹ Valores promedio de los datos obtenidos en los 2 lisímetros.

² Coeficiente de cultivo Kc para Ají morrón (*Capsicum annuum* L.)

4. CONCLUSIONES

Para condiciones edafo-climáticas de la vereda de Guacas, municipio de Guacarí (Valle del Cauca), los coeficientes de cultivo (Kc) determinados para las fases II, III y IV son 0,70 (30 a 44 DDT), 1,51 (45 a 100 DDT) y 1,30 (100 a 134 DDT) respectivamente. Los valores encontrados son cercanos a los propuestos por la FAO (1998), teniendo en cuenta que la región y la variedad de ají estudiados por la FAO son diferentes.

Los resultados obtenidos en este estudio indican que la evapotranspiración del cultivo (ETc) en el ají tabasco fue de 601,81 mm durante un ciclo total de 134 días después del trasplante, representándose la ETc como las necesidades hídricas del cultivo durante el periodo de estudio.

5. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al grupo de investigación REGAR por permitirle ser parte de este proyecto, por el acompañamiento y apoyo durante estos meses.

Al profesor Norberto Urrutia Cobo y Andrés Echeverri por la ayuda y asesoría en el desarrollo de este proyecto.

6. REFERENCIAS

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. Rome, Italy: FAO Irrigation Drainage Paper no. 56.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. En O. d. Alimentación, Estudio FAO riego y drenaje no. 56 modificado de versión (1998) (pág. 322). Roma.
- Chaves Paulino, S. W., Moreira de Azevedo, B., de Medeiros, J. F., Lima Bezerra, F. M., & de Moraes, N. B. (2005). Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da pimenteira em lisímetro de drenagem. Revista Ciência Agronômica, 6.
- Corporación Colombiana Internacional. (2007). Plan Hortícola Nacional. Bogotá.
- Da Silva, N. (2012). Construção, instalação e calibração de lisímetros para a determinação da evapotranspiração de referência. Recife, Brasil.
- Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). Yield Response to Water., FAO,. Rome, Italy: FAO Irrigation and Drainage Paper, 33.

- Miranda, F. R., Gondim, R. S., & Costa, C. A. (2005). Evapotranspiration and crop coefficients for tabasco pepper (*Capsicum frutescens* L.). Fortaleza, Brasil: Embrapa Tropical Agroindustry.
- Owusu-Sekyere, J. D., Asante, P., & Osei-Bonsu, P. (2010). Water requirement, deficit irrigation and crop coefficient of hot pepper (*Capsicum frutescens*) using irrigation interval of four (4) days (Vol. 5). Cape Coast, Ghana: ARPN Journal of Agricultural and Biological Science.
- Santos, C. S., Santos, D. P., Santos, M. A., Silva, T. V., & Silva, P. F. (2014). Determinação do coeficiente de cultivo (Kc) da pimenta (*Capsicum frutescens*) para o agreste Alagoano. Arapiraca, Alagoas, Brasil: Inovagri.