

Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el cafeto en la provincia de Pinar del Río

Evapotranspiration and crop coefficients for coffee trees in Pinar del Río province

M.Sc. Enrique Cisneros Zayas¹, Dr.C. Reinaldo Rey García¹, Dr.C. Roberto Martínez Varona¹, Dr.C. Teresa López Seijas¹, Dr.C. Felicita González Robaina¹,

¹ Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

¹¹ Empresa Forestal Integral, La Palma, Entronque Herradura, Pinar del Río., Cuba.

RESUMEN. El objetivo del presente trabajo fue determinar la evapotranspiración (ETc) y los coeficientes únicos de cultivo (Kc) por fases de desarrollo del cafeto (*Coffea arabica*, L) variedad Caturra Rojo de 12 años de edad, regado con un sistema de riego localizado superficial. El experimento se llevó a cabo en la región de San Andrés, provincia Pinar del Río durante cuatro años sobre un suelo Alítico amarillento de alta actividad arcillosa típico. La ETc se determinó a partir del balance hídrico hasta la profundidad de 60 cm y los Kc por la razón entre la ETc de las plantas regadas todo el año cuando la humedad descendió hasta el 85% del Límite Superior de Agua Disponible en el suelo y la Evapotranspiración de Referencia (ETo) de la zona. Como resultado se obtuvo que la mayor demanda de agua se produce en la fase floración-fructificación, la evapotranspiración promedio diaria anual resulto ser de 3,24 mm•día-1 y el coeficiente único global de cultivo de 0,86.

Palabras clave: manejo del riego, consumo hídrico, balance hídrico.

ABSTRACT. The objective of the present paper was determining the crop evapotranspiration (ETc) and crop coefficients (Kc) for development phases of the coffee (*Coffea arabica*, L) variety Red Caturra of 12 years old, irrigated with surface drip irrigation system. The experiment was carried out in San Andrés region, Pinar del Río province, during four years on a Yellow alitic soil of typical high loamy activity. The ETc was determined starting from soil water balance until 60 cm depth and the Kc divided into ETc of the irrigated plants all the year when the humidity descended until 85% of the soil Field Capacity and the Reference Evapotranspiration (ETo) of the area. As a result, it was obtained that the highest water demand is produced in the flowering-fructification phase, the annual daily evapotranspiration average was 3.24 mm•day-1 and the global crop coefficient 0.86.

Keywords: Irrigation management, water consumption, hydric balance.

INTRODUCCIÓN

En Cuba la producción cafetalera constituye el rublo fundamental de las regiones montañosas y el tercero en las fuentes de ingresos en divisa de la actividad agropecuaria del país. (E.C.I.C.C, 1999) citado por Cisneros (2006), de lo anterior se deduce la necesidad del estudio para nuestras condiciones, de todos los factores relacionados con la obtención de elevadas producciones y con un grano de calidad exportable.

La determinación del consumo hídrico por las plantas es importante en diversas áreas de la agricultura, tales como, estudios de la demanda y el manejo del riego, saneamiento agrícola, estimación de la producción y estudios hidrológicos en general. La evapotranspiración de cultivo (ETc) está directamente

relacionada a tales estudios y es definida como la cantidad de agua consumida por un determinado cultivo. Según Allen *et al.* (2006), ETc es la combinación de la evaporación (E), que es proveniente del suelo, y la transpiración (T), relacionada a la planta.

La determinación de la ETc puede ser realizada por varios métodos, donde se destacan los métodos de balance de energía, balance de agua en el suelo y lisimetría. Además de estos, están los métodos de estimación a partir de datos meteorológicos y el tanque de evaporación (Allen *et al.*, 2006). La medición de ET con lisímetros de pesaje es el método más preciso, a pesar de ser posible determinar ET en espacio de

tiempo variable, en intervalos de 10 minutos o menos. (Faria *et al.*, 2006; Carvalho *et al.*, 2007).

Por otro lado la evapotranspiración puede ser definida a través de medidas directas o por modelos que tengan en consideración la utilización de elementos meteorológicos; en el primer grupo son utilizados diversos tipos de lisímetros además del método del balance de agua en el suelo; ya en el segundo grupo se usan modelos teóricos, empíricos y evaporímetros, como el Tanque Clase “A”, o sea, procesos controlados por la suspensión de agua a las plantas y por la disponibilidad de energía resultante de la interacción con las variables meteorológicas que condicionan la demanda atmosférica (Pivetta *et al.*, 2010).

La *ETc* a pesar de ser un elemento complicado en su determinación, puede obtenerse de la ecuación general de balance hídrico cuando se conocen todos los demás términos. Para esto deben hacerse mediciones precisas de todos los demás parámetros de la ecuación. Chaterlán (2013)¹, plantea que es relativamente fácil medir la cantidad de agua recibida por riego o lluvia, aunque es necesario considerar las posibles no uniformidades de la distribución en el área.

Por medio de la relación entre la *Et* del cultivo de interés y la *ETo*, se puede determinar el coeficiente de cultivo (*Kc*), que representa la integración de los diferentes efectos que hacen que el cultivo de interés presente un comportamiento diferente al cultivo de referencia. Según Lascano y Sojka (2007), el *Kc* es requerido en las fases de dimensionamiento y manejo del riego.

Investigaciones realizadas en Cuba sobre requerimientos hídricos del cafeto, señalan la necesidad de que a este cultivo se le apliquen riegos que mantengan niveles de humedad mínimo en el suelo Ferralítico Rojo Compactado entre 80 y 90% de la capacidad de campo (Morales, 1980). Estudios más recientes fueron llevados a cabo por Rey *et al.* (1992)², donde brinda por fases del cultivo la evapotranspiración y los coeficientes bioclimáticos, donde refiere que la etapa de mayor consumo es la floración–fructificación.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo determinar la evapotranspiración y los coeficientes únicos de cultivo por fases del cafeto, variedad Caturra rojo, para las condiciones biofísicas en la región de San Andrés con el empleo de herramientas actuales, que permitan una mejor planificación del riego.

MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo durante cuatro años consecutivos en un área experimental de 1,4 hectáreas plantada de cafeto variedad Caturra Rojo con una edad de 12 años (Plantación establecida). La misma se encuentra ubicada en San Andrés de Caiguanabo, municipio La Palma, provincia Pinar del Río, con Coordenadas Lambert 318 Norte y 236 Este, a una altura sobre el nivel del mar de 180,0 m.

La zona se caracteriza por una pluviometría promedio de 1571 mm (media de 12 años), distribuidas el 23,5% en el período poco lluvioso (noviembre–abril) y 76,5% en el período lluvioso (mayo–octubre). La pluviometría de los cuatro años experimentales estuvo por debajo del promedio histórico. La media anual de estos cuatro años alcanzó un valor de 1490,9 mm. La humedad relativa, la temperatura, velocidad del viento y la evapotranspiración de referencia manifestaron comportamientos más estables durante los años estudiados.

El suelo donde se efectuaron las investigaciones se clasifica como Alítico amarillento de alta actividad arcillosa típico según nueva clasificación de suelos citada por Cid (2010), que se corresponde con Ferralítico Amarillento Lixiviado Cuarsítico, según la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 1999).

Las atenciones culturales se efectuaron según las instrucciones técnicas para el cultivo del Café y Cacao. (MINAG, 1987)³.

Para la aplicación del agua, se utilizó un sistema de riego localizado por micro aspersión bajo el principio de cobertura total. El emisor fue de la serie C 2 x140° con diámetro de salida $\phi = 1,0$ mm, caudal de 37,36 L h⁻¹, espaciados a 1,00 m; con un lateral por hilera de plantas.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar con seis (6) tratamientos y cuatro (4) repeticiones, el área de cada tratamiento fue de 960 m².

Los tratamientos consistieron en:

1. Riego todo el año a 85% del Límite Superior de Agua disponible en el suelo (**LSAD**).
2. Riego a 85% del LSAD con suspensión en diciembre.
3. Riego a 85% del LSAD con suspensión en diciembre y enero.
4. Riego a 85% del LSAD con suspensión en diciembre, enero y febrero.
5. Riego a 85% de LSAD con suspensión en diciembre, enero, febrero y marzo.
6. Sin riego.

Las suspensiones del riego en los meses de diciembre a enero (tratamientos dos, tres, cuatro y cinco) se corresponden con el periodo donde la evapotranspiración de referencia supera las precipitaciones y donde es posible establecer una estrategia de riego en la región de estudio.

El momento de riego y el volumen de aplicación fueron controlados por el método gravimétrico mediante la toma de muestra de suelo por capas de 10 cm hasta la profundidad de 60 cm.

Para conocer el balance hídrico de la zona de estudio, fue utilizado el programa InnerSoft - Balance Hídrico versión 0.1 Beta (2014), que permitió conocer los meses en los que el balance es negativo y poder establecer la estrategia de riego.

Para la cuantificación de los balances hídricos por el método de Balance de Masas, se utilizó la ecuación general de balance definida originalmente por Hillel (1972) según la presenta López (2001): (ecuación 1):

¹ CHATERLÁN, D. Y.: Actualización de los coeficientes de cultivo (*kc*) para la definición de las necesidades de riego en los principales cultivos en Cuba, 136pp, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias), Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba, 2013.

² REY, R.; CISNEROS, E.: Agua a aplicar y momento de la aplicación en cafeto, plantaciones establecidas 5 000 plantas /ha , Manuscrito. Informe de Etapa. IIRD, agosto, 1992.

³ MINAG: Instrucciones Técnicas para el cultivo del Café y Cacao, 208pp. Dirección nacional de Café y Cacao, febrero. 1987.

$$\Delta A = P + I - (DI + DS + Et) \quad (1)$$

donde:

ΔA .- Variación en la lámina almacenada hasta la profundidad considerada para el balance;

P.- Precipitación en mm;

I.- Agua aplicada durante el riego (mm), correspondiente a la dosis de riego aplicada de acuerdo a la frecuencia empleada;

DS.- Escurrimiento superficial, que fue despreciado por ser un área pequeña y relativamente plana, además los ingresos (P+I) no sobrepasaron en ningún momento la lámina correspondiente a la saturación del suelo;

ETc - Evapotranspiración del cultivo (mm·día⁻¹);

DI- Drenaje interno, determinado como la integral del flujo de drenaje a la profundidad de la zona considerada para el balance (q_z), en un intervalo de tiempo determinado ($\Delta t = t_2 - t_1$):

$$DI = \int_{t_1}^{t_2} q_z dt \cong (\bar{q} * z) \Delta t \quad (2)$$

donde:

q - Es el flujo en cm·día⁻¹ a través de una determinada profundidad (z), determinado por la ley de Darcy para un suelo no saturado como (Reidhardt, 1996):

$$q = -K(\theta) \frac{dH}{dZ} \quad (3)$$

donde:

K (θ) - Conductividad hidráulica no saturada (cm·día⁻¹) en función de la humedad volumétrica (cm³·cm⁻³).

dH/dZ - Variación de potencial total calculada numéricamente como:

$$\frac{dH}{dZ} = \frac{(h + z)_{z+i} - (h + z)_{z-i}}{(Z + i) - (Z - i)} \quad (4)$$

donde:

i - Intervalo de medición de la humedad (m) y **h** la tensión correspondiente

La **ETc** se obtuvo despejando de la ecuación general de balance hídrico (ecuación 1).

$$ETc = P + I - (DI + DS) - \Delta A \quad (5)$$

Los valores de Kc fueron calculados utilizando el enfoque de coeficiente único definido por Allen *et al.* (2006), por la relación $Kc = ETc / ETo$, donde: ETc evapotranspiración del cultivo (mm·día⁻¹); y ETo evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹). Para las condiciones de estudio este coeficiente se determinó a partir de los valores de la ETc del café obtenidos del balance hídrico para las condiciones de la región de San Andrés, provincia Pinar del Río y los valores de ETo calculada por Solano *et al.* (2003) a partir de la ecuación FAO Penman–Monteith utilizando una corrección a la fórmula, para ajustarla

a las condiciones de Cuba.

Los valores de Kc obtenidos, el número de riego y las normas de riego netas totales fueron precisados y ajustados mediante corridas en el programa CROPWAT (versión 8.0, 2006)⁴ y el modelo de simulación WinISAREG versión para Windows del modelo ISAREG (Teixeira y Pereira, 1992⁵; Pereira *et al.*, 2003⁶).

Las fases fenológicas fueron establecidas bajo las condiciones de estudio, según la observación y la experiencia de técnicos y especialistas de cultivo de la zona y auxiliándonos de la “Escala BBCH ampliada” para la descripción de las fases fenológicas del café (Arcila-Pulgarín *et al.*, 2001). Es de interés destacar además, que estas fases no son exactas ya que como plantean Arcila-Pulgarín *et al.* (2001) en cultivos perennes es muy difícil definir una fase vegetativa de la otra, pues en ocasiones coinciden diferentes etapas en el mismo momento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto del déficit hídrico sobre el suelo y cultivos en las zonas cafetaleras según Jaramillo y Pulgarín (2009) puede estar muy influenciado por el hecho de que cada suelo tiene una capacidad característica de retención de agua.

El agua almacenada es utilizada para el crecimiento de la planta y sale del sistema a través de los procesos de evaporación y transpiración, procesos que se aceleran al disminuir la humedad ambiental y por un aumento de la intensidad de radiación, temperatura y el viento. Para el cultivo del café se estima, que una deficiencia de agua continua con valor entre 100 y 125 mm, reduce la producción (Dagg, 1971; Camargo, 1994).

Los índices hídricos han sido ampliamente utilizados en el mundo con el fin de conocer el agua disponible por los cultivos en la zona de raíces y conocer su impacto en la producción y fenología del cultivo (Ramírez *et al.*, 2010).

En la Figura 1, se muestra el resultado del balance hídrico promedio para la región de estudio en San Andrés, Pinar del Río. Como se observa en los meses desde enero – abril la evapotranspiración de referencia supera la precipitación lo que indica la necesidad de regar en ese periodo, y de no hacerlo se produciría un déficit acumulado de 109,3 mm, durante los meses de marzo y abril según corrida del programa balance hídrico, fases estas que coinciden con la floración – fructificación, donde el cultivo tiene sus mayores consumo de agua según refiere Rey *et al.* (1992).

Los factores que más influyen en la evaporación y la transpiración, por lo tanto, en la evapotranspiración, son las condiciones atmosféricas locales, tales como temperatura, radiación solar, humedad relativa del aire y velocidad del viento. Factores relacionados al manejo del cultivo también influyen las tasas de Et, tales como cultivar, densidad de plantas, riego y control de plagas y enfermedades. Finalmente, también afectan la Et las características del suelo relacionadas a la fertilidad y la capacidad de retención de agua (Allen *et al.*, 2006).

⁴ SWENNENHUIS, J.: CROPWAT, versión 8.0, 2006.

⁵ TEIXEIRA, J.; PEREIRA, L. S.: ISAREG. An Irrigation Scheduling Model. ICID Bulletin, 41(2): 29-48, 1992.

⁶ PEREIRA, L. S.; TEODORO, P. R.; RODRÍGUEZ, P.N.; TEIXEIRA, J. L.: Irrigation Scheduling Simulation: the Model ISAREG, pp. 161-180, In: Rossi, G, Cancelliere, A, Pereira, LS, Oweis, T, Shatanawi, M, Zairi, A (Eds.) Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions. Kluwer, Dordrecht, 2003.

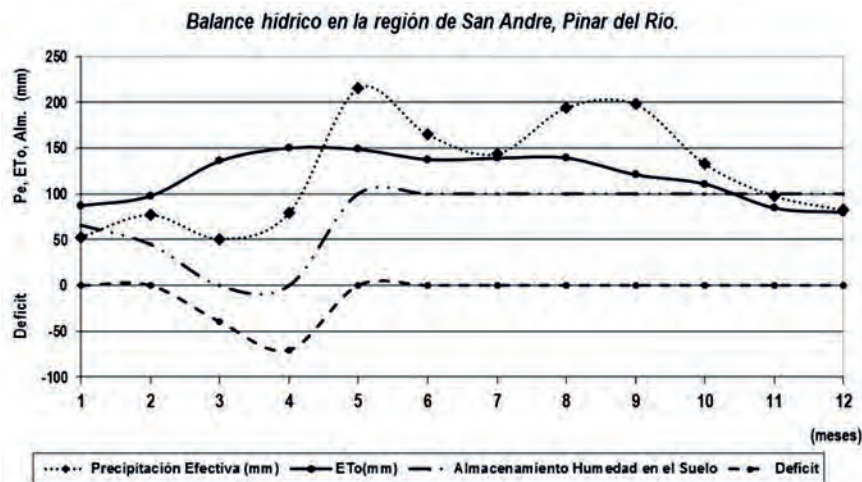


FIGURA 1. Balance hídrico promedio en la zona experimental.

Según Rey (1991) citado por Cisneros *et al.* (2006), al evaluar las variables climática para las condiciones de Cuba, señala que las temperaturas no resultan un factor limitante para el desarrollo del cultivo, pues las mismas no alcanzan mínimas absolutas por periodos más o menos prolongados que puedan provocar deformaciones importantes a la planta y aunque las temperaturas en la isla son relativamente altas, estas no han

mostrado efectos negativos visibles en las condiciones en que se cultiva el café.

En la Figura 2, se muestra como la temperatura mantuvo un comportamiento estable durante todo el periodo encontrándose entre los 21,9 y 26,7 °C, la humedad relativa osciló entre los 75,5 y 84,5%; mientras que la velocidad del viento evidencio un comportamiento menos estable entre los 1,1 y 2,9 m·s⁻¹.

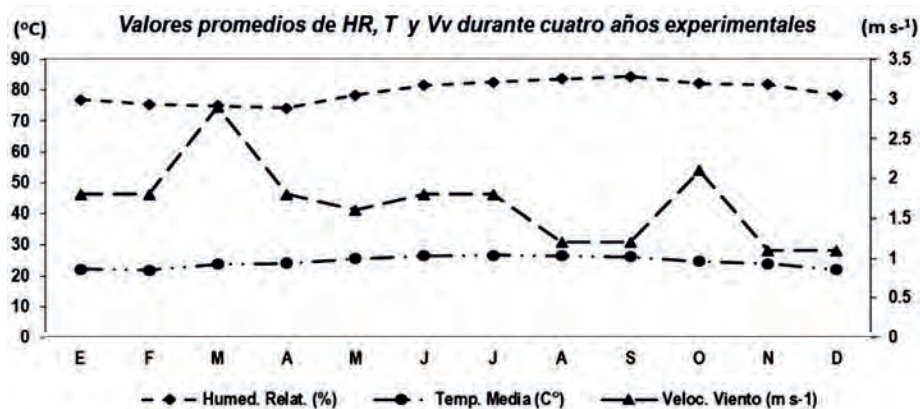


FIGURA 2. Comportamiento promedio de las variables climáticas en la zona experimental.

En términos generales, la humedad ambiental apropiada para el café es de 65 a 80%. Si es excesiva, cercana a 100%, por períodos largos, se hace propicia la aparición de enfermedades fungosas, y si es deficiente, inferior a 60% los procesos básicos de la planta se ven afectados negativamente (Pentón y Cabrera, 1988)⁷. En cuanto a las temperaturas y la velocidad del viento para las zonas cafetaleras deben encontrarse entre los 20-27°C y la velocidad del viento menores de 4 m·s⁻¹ (MINAG, 1987).

Como se puede apreciar todas las variables se encuentran dentro de los rangos permisibles para una zona cafetalera.

Comportamiento de la humedad volumétrica en el suelo durante la etapa experimental

La mayoría de los trabajos desarrollados en Cuba sobre régimen de riego aplican como parámetro crítico para la eje-

cución del mismo, el concepto del límite productivo, *Lp*, definido como un porcentaje del valor de la humedad o la lámina almacenada a capacidad de campo, *Cc*. Trabajos más recientes definen como criterio para el valor máximo de humedad en el suelo el de *LSAD*.

En este sentido se define que el valor del *Lp* igual al 85% del *LSAD* es el más recomendado para la mayoría de los cultivos agrícolas de interés económico (Giral y Ramírez, 1979b; Cárdenas *et al.*, 1982; Toledo *et al.*, 1982; Martínez, 1984a; Castellanos *et al.*, 1984b, c; Ortega y Martínez, 1986; Castellanos, 1986; León y Montalvo, 1986; Zamora *et al.*, 1986; Pujol *et al.*, 1989; León y Derivet, 1990; León *et al.*, 1991), citados por Chaterlán (2013).

En la Figura 3, se muestra el comportamiento de humedad durante todo el periodo estudiado, en la misma se puede

⁷ PENTÓN, G y CABRERA, I.: Compendio temático de café. CIDA, C. Habana, 13pp., 1988.

observar que el contenido de agua en el suelo se mantuvo entre el valor correspondiente al LSAD $0,321 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ equivalente a $(0,488 \text{ cm}^3\cdot\text{cm}^{-3})$ y el valor correspondiente al 85% del LSAD $0,273 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ $(0,415 \text{ cm}^3\cdot\text{cm}^{-3})$. Las variaciones de humedad durante los cuatro años reflejan que en ocasiones la misma descendió por debajo del Límite Inferior de Agua Disponible en el suelo (LIAD) planificado, pero aun así, no se observaron síntomas de estrés hídrico en la planta, por lo que en sentido general el cultivo se desarrolló sin limitaciones de agua significativas.

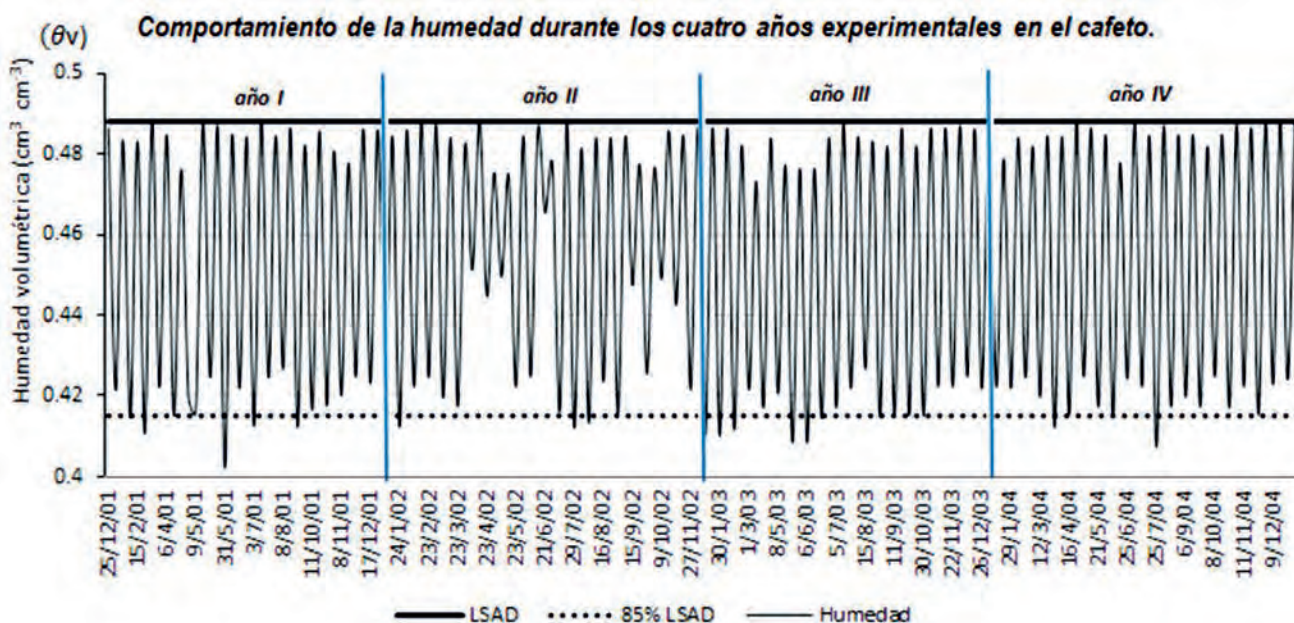


FIGURA 3. Distribución de humedad en el suelo del área experimental.

Uno de elementos a tener en cuenta para la planificación adecuada del riego son las etapas fenológicas de desarrollo del cultivo, para las cuales se definen los coeficientes de cultivo. En algunos casos, el momento de aparición de la vegetación así como el momento de la cobertura completa pueden ser estimados usando regresiones basadas en la acumulación de grados de temperatura o a través de modelos más sofisticados de crecimiento vegetal. Estos modelos deberán ser verificados y validados para cada área o para la variedad específica del cultivo, usando observaciones locales.

A medida que el cultivo se desarrolla, tanto el área del suelo cubierta por la vegetación como la altura del cultivo y el área foliar variarán progresivamente. Debido a las diferencias en evapotranspiración que se presentan durante las distintas

etapas de desarrollo del cultivo, el valor de Kc correspondiente a un cultivo determinado, también variará a lo largo del período de crecimiento del mismo. Este período de crecimiento puede ser dividido en cuatro etapas: inicial, de desarrollo del cultivo, de mediados de temporada y de final de temporada. (Allen *et al.*, 2006).

Por otra parte, el conocimiento de la fenología de los cultivos es importante para la planeación de las épocas oportunas para la realización de ciertas prácticas culturales como aplicación de fertilizantes, control de plagas, enfermedades y arvenses, entre otras. (Arcila-Pulgarín *et al.*, 2001).

Para las condiciones de la región de San Andrés, Pinar del Río, se pudo establecer las duraciones de las diferentes fases de desarrollo del café como aparece en la Tabla 1:

TABLA 1. Duración de las fases del café en días

No	Fases	Duración	Días
I	Floración - Fructificación.	Febrero – Abril	89
II	Fructificación - Desarrollo del fruto.	Mayo – Agosto	123
III	Maduración - Cosecha.	Septiembre – 1 ^{ra} dec. Diciembre.	101
IV	Cosecha - Recuperación.	2 ^{da} dec. Diciembre - Enero	52

Evapotranspiración del café para los diferentes años experimentales

En el primer año la evapotranspiración de cultivo fue de 1197,3 mm, aportándose 536,7 mm con riego y 660,6 mm por lluvia. El mayor consumo de agua diario se presentó en la fase floración-fructificación con $4,74 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$, la lluvia aprovechable en este año fue de 44,7% y el riego fue aprovechado en

un 55,3%. En la Figura 4 se puede observar la relación entre la ETo y la ETc por fases, es de interés destacar que en la fase cosecha recuperación aunque el consumo se reduce, la ETo en esos meses es menor por lo que los valores son muy próximos e incidiendo en el Kc para esas fase de desarrollo.

La evapotranspiración de cultivo total en el segundo año fue de 1144,2 mm de la cual el riego aportó 501,5 mm y la lluvia 642,7 mm. La fase más exigente vuelve a ser la de floración - fruc-

tificación con 4,27 mm día⁻¹ seguida de la maduración cosecha. El aprovechamiento de las precipitaciones en este año fue de 44,0% y el riego de 56,0%. En la Figura 5 se muestra como para este año la ETo mantiene un comportamiento similar al año anterior.

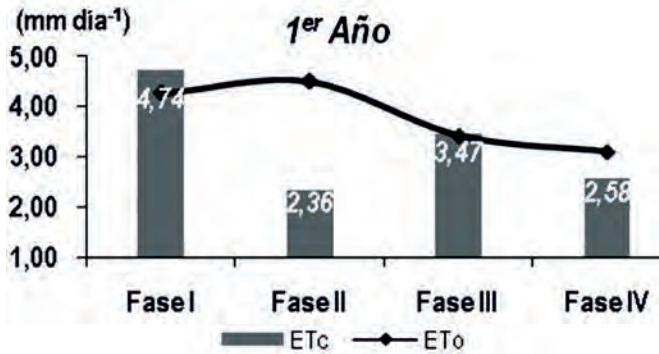


FIGURA 4. Comportamiento de ETc y ETo por fases de desarrollo regado al 85% LSAD. Año 1.

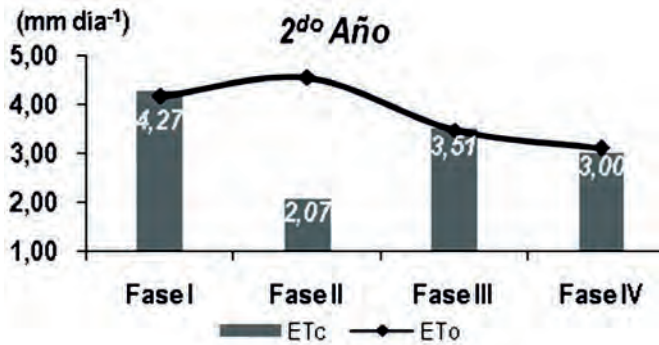


FIGURA 5. Comportamiento de ETc y ETo por fases de desarrollo regado al 85% LSAD. Año 2.

En el tercer año la evapotranspiración de cultivo total fue de 1112,0 mm aportando el riego 673,4 mm y la lluvia 438,6 mm. El consumo de agua más elevado se presentó en la fase floración - fructificación con 4,43 mm día⁻¹, en este año el riego se aprovechó en un 60,5% y las lluvias en un 39,5%. La Figura 6 ilustra cómo se comportó la relación ETo vs ETc.

Para el cuarto año la evapotranspiración de cultivo total tuvo un valor del orden de los 1177,0 mm aportando el riego 720,4 mm y las precipitaciones 456,6 mm. La fase más exigente coincide nuevamente con la floración - fructificación, el consumo de agua diario en la misma fue de 4,33 mm día⁻¹, el riego se aprovechó en un 61,3% y la lluvia al 38,7%. En la Figura 7 aparece una situación idéntica a la del primer y segundo año, donde el consumo vuelve a ser mayor que la ETo.

Como se puede constatar la fase de mayor consumo de agua diaria para los cuatro años estudiados fue la floración - fructificación seguida de la fase maduración-cosecha, durante todo el periodo analizado. En la Figura 8 aparece el comportamiento promedio de estas dos variables durante la etapa experimental. Comportamiento similares fueron obtenidos por Bruno *et al.* (2011), donde plantea que los mayores consumo de agua para sus condiciones de estudio se observaron en los meses de septiembre a abril y el mismo alcanzó un

valor para riego por goteo de 2,8 mm día⁻¹. En trabajo sobre evapotranspiración del café Da Silva *et al.* (2011) plantea consumos medio de 4,93 mm día⁻¹, Mantovani (2001) obtuvo, como resultado de ET del café regado con máquina de pivote central en fase de producción, valores del orden de 0,6 a 1,0 mm día⁻¹ en el periodo de menor demanda atmosférica y de 4,5 a 4,8 mm día⁻¹ en el periodo de mayor demanda.

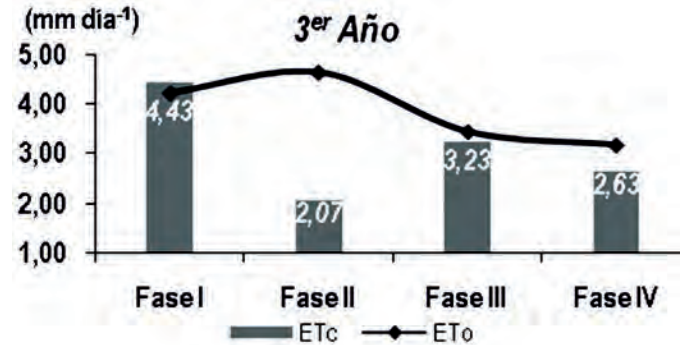


FIGURA 6. Comportamiento de ETc y ETo por fases de desarrollo regado al 85% LSAD. Año 3.

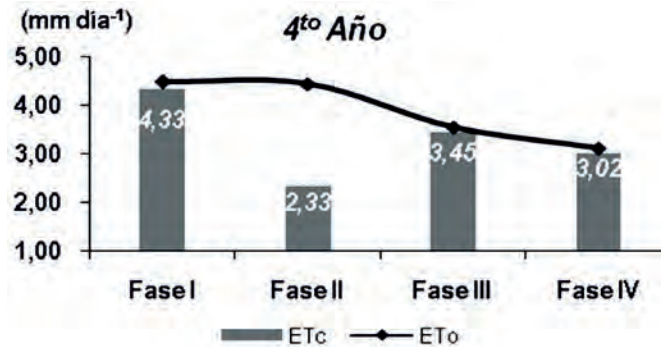


FIGURA 7. Comportamiento de ETc y ETo por fases de desarrollo regado al 85% LSAD. Año 4.

Para la fase cosecha - recuperación el valor promedio de la evapotranspiración de cultivo no muestra una tendencia estable o definida, esto pudiera estar asociado a las características de alternancia en el rendimiento del café.

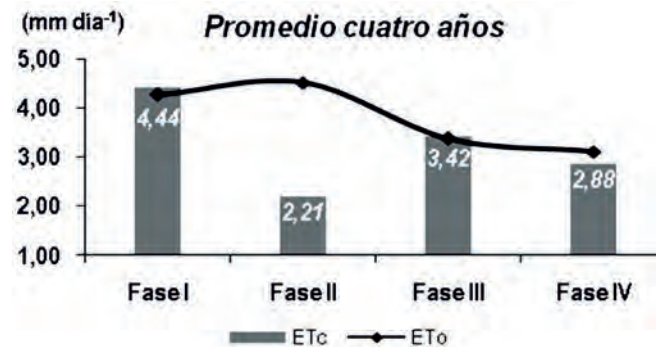


FIGURA 8. Comportamiento de ETc y ETo por fases de desarrollo regado todo el año al 85% LSAD.

En la Tabla 2 se resume para los cuatro años experimentales, los valores de la evapotranspiración de cultivo promedio diaria para cada una de las fases:

TABLA 2. Evapotranspiración de cultivo promedio diaria del café por fases

No	Fases	ETc
I	Floración - Fructificación.	4,44 mm día ⁻¹ .
II	Fructificación - Desarrollo del fruto.	2,21 mm día ⁻¹ .
III	Maduración - Cosecha.	3,42 mm día ⁻¹ .
IV	Cosecha - Recuperación.	2,88 mm día ⁻¹ .
	promedio	3,24 mm día ⁻¹ .

Coefficiente único de cultivo del café por fases de desarrollo

El enfoque del coeficiente único del cultivo, integra las diferencias en la evaporación del suelo y en la tasa de transpiración del cultivo. Como la evaporación en el suelo puede fluctuar diariamente como resultado de la lluvia o el riego, el coeficiente único del cultivo es solamente una expresión de los efectos promedios en el tiempo de la evapotranspiración del cultivo. El coeficiente único promediado en el tiempo se utiliza para estudios a nivel de planificación y para el diseño de sistemas de riego donde sea razonable y pertinente considerar los efectos del humedecimiento del suelo. (Allen *et al.* 2006).

Los valores medios obtenidos de Kc por fases de desarrollo a partir del enfoque de coeficiente único se muestran en la Tabla 3.

TABLA 3. Coeficiente único de cultivo del café por fases

No	Fases	Kc=ETc / ETo
I	Floración - Fructificación.	1,04
II	Fructificación - desarrollo del fruto.	0,49
III	Maduración - Cosecha.	1,01
IV	Cosecha - Recuperación.	0,92
	Global	0,86

Como se aprecia el valor de Kc global fue de 0,86 presentándose los mayores valores en los meses de Febrero a Abril y de Septiembre a la 1^{ra} decena de Diciembre, donde se desarrollan las fases I y III estos valores son inferiores a los referidos por Allen *et al.* (2006) para el cultivo del café. En trabajos sobre

determinación de Kc en café Bruno *et al.* (2011) encontró valores de coeficiente de cultivo durante dos años de 1,0 para riego por aspersión y de 0,88 para goteo.

Otros autores como Oliveira *et al.* (2003), al utilizar tensiómetros, para determinar el almacenamiento de agua en el suelo, encontraron Kc igual a 0,96; durante cuatro meses de evaluación de cafetos de la variedad Catuai IAC 44, a los 16 años de edad, regados por goteo.

Sato *et al.* (2007), trabajaron con el cultivar IAC 44, regado por goteo, en la región de Lavras, MG, encontraron Kc de 0,59 y 1,16, durante el otoño y el invierno de 2004.

Oliveira *et al.* (2007), también utilizando riego por goteo, para el cultivar Catuai, en el periodo de floración y formación de frutos, encontraron valores de Kc de 1,0 y 1,3 en plantas con tres años de edad.

En dos manejos de riego para el cultivar IPR59, en la región de Londrina, Flumignan y Faria (2009), utilizando lisímetros de pesada determinaron un Kc medio 0,92 para el tratamiento regado por goteo en el segundo año del cultivo.

Como se puede observar el coeficiente de cultivo varía en dependencia de la evapotranspiración de referencia de zona, de la variedad del cultivo, del método de aplicación del agua y tipo de suelo por lo que resulta recomendable que sea determinado y ajustado para cada condición específica.

CONCLUSIONES

- El consumo hídrico del café varía según las fases de desarrollo y la demanda evaporativa de la atmósfera, mostrándose la etapa de mayor necesidad de agua para las condiciones biofísicas de la región, la floración – fructificación, seguida de la fase maduración–cosecha, la evapotranspiración promedio diaria anual resultó ser de 3,24 mm día⁻¹.
- Los valores de coeficiente de cultivo obtenidos responden a las necesidades hídricas en cada fase de desarrollo del café, por lo que pueden ser utilizados para el diseño y la planificación del riego en la zona de estudio, el coeficiente de cultivo único global fue de 0,86.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.: *Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, edit. Estudio FAO Riego y Drenaje 56, Ed. FAO, ISBN-92-5-304219-2, Roma, 2006.
- ARCILA-PULGARÍN, J.; BUHR, L.; BLEIHOLDER, H.; HACK, H.; WICKE, H.: *Aplicación de la “Escala BBCH ampliada” para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café (Coffea sp.)* ISSN 0120-047x. Cenicafé. Chinchiná – Caldas – Colombia. Boletín Técnico No 23, Colombia, 2001.
- BRUNO PATIAS LENA, DANILTON LUIZ FLUMIGNAN; ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA. “Evapotranspiração e coeficiente de cultivo de cafeeiros adultos”, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, ISSN: 0100-204X, Vol. 46 (8): Aug, 2011.
- CAMARGO, A. P.; PEREIRA, A.R.: *Agrometeorology of the coffee crop*, 43pp., World Meteorological Organization-WMO-WMO/TD N° 615, 1994.
- CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.B.; GUERRA, J.G.M.; CRUZ, F.A.; SOUZA, A.P.: “Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem”, *Engenharia Agrícola*, ISSN: 1809-4430, Vol. 27: 363-372 2007.
- CID, G.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; RUÍZ, M. E.: “Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN-2306-1545, Vol. 2 (2):25-31, 2012.

- CISNEROS, E.; REY, R.; ZAMORA, E.; GONZÁLEZ, F.: "Influencia del manejo del riego en el rendimiento del café", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, Vol. 15 (2): 42-46, 2006.
- DA SILVA, A. C.; LIMA, L. A.; ADÃO, W. P.; EVANGELISTA; MARTINS, C. P.: "Evapotranspiration and crop coefficient of irrigated coffee with a pivot", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, ISSN: 1807-1929, Vol. 15 (12), Dec., 2011.
- DAGG, M.: "Water requirements of coffee", *Kenya Coffee*, Vol. 36 (424): 129-151, 1971.
- FARIA, R.T.; CAMPECHE, L.F.; CHIBANA, E. Y.: "Construção e calibração de lisímetros de alta precisão", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, ISSN: 1807-1929, Vol. 10: 237-242, 2006.
- FLUMIGNAN, D.L.; FARIA, R.T.: "Evapotranspiração e coeficientes de cultivo de cafeeiros em fase de formação", *Bragantia*, ISSN: 1678-4499, Vol. 68: 269-278, 2009.
- InnerSoft - *Balance Hídrico versión 0.1 Beta*, [en línea] junio 2001, Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/temas/guiaagua/Anexo%201.pdf> [consulta: abril 10 2014].
- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba.*, ed. L.L Barcaz, Ed. AGRINFOR, t. 1, ISBN-959-246-022-1, La Habana, Cuba, 1999.
- JARAMILLO-ROBLEDÓ, A.; ARCILA-PULGARÍN, J.: "Variabilidad climática en la zona cafetalera colombiana asociada al evento del niño y su efecto en la caficultura", *Revista Cenicafé*, ISBN- 0120-0178, Diciembre, 2009.
- LASCANO, R. J; SOJKA, R.E.: *Irrigation of agricultural crops*. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy. 664p. (ASA. Agronomy monograph, (30), USA, 2007.
- LÓPEZ, T.; CID, G.; GONZÁLEZ, F. y ZAMORA, E.: "Redistribución de la humedad en un suelo Ferralítico", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, Vol. 10 (1): 91-94.2001.
- MANTOVANI, E. C. A.: "Irrigação do cafeeiro", *Item, Irrigação e Tecnologia*, Vol. 48: 45-49, 2001.
- MORALES, D.: "Régimen de riego óptimo para cafetos en sus dos primeros años", *Cultivos Tropicales*, ISSN: 0258-5936, Vol. 2 (1): 77-83, 1980.
- OLIVEIRA, P.M. de; SILVA, A.M. da; CASTRO NETO, P.: "Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)", *Irriga: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage*, ISSN: 1413-7895, Vol. 8: 273-282, 2003.
- OLIVEIRA, L.F.C.; OLIVEIRA, R.Z.; BORGES, L.B.; WEHR, T.R.; BONOMO, R.: "Coeficiente de cultura e relações hídricas do cafeeiro, cultivar Catucaí, sob dois sistemas de manejo da irrigação", *Pesquisa Agropecuária Tropical*, ISSN: 1983-4063, Vol. 37: 154-162, 2007.
- PIVETTA, C. R.; HELDWEIN, A. B.; MALDANER, I. C.; RADONS, S. R.; TAZZO, I. F.; LUCAS, D. D.: "Evapotranspiração máxima do pimentão cultivado em estufa plástica em função de variáveis fenométricas e meteorológicas", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, ISSN: 1807-1929, Vol. 14: 768-775, 2010.
- RAMÍREZ, B.; JARAMILLO, R.; ARCILA, P.: "Índice para evaluar el estado hídrico en los cafetales", *Cenicafé*, Vol. 61 (1): 55-66, 2010.
- SATO, F.A.; SILVA, A.M. da; COELHO, G.; SILVA, A.C. da; CARVALHO, L.: "Coeficiente de cultura (Kc) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no período de outono-inverno na região de Lavras – MG", *Engenharia Agrícola*, ISSN: 1809-4430, Vol. 27: 383-391, 2007.
- SOLANO, O.; MENÉNDEZ, C.; VÁZQUEZ, R.; MENÉNDEZ, J. A.: "Estudio de la evapotranspiración de referencia en Cuba", *Revista Cubana de Meteorología*, ISSN: 0864-151X, Vol. 10 (1): 33-38, 2003.

Recibido: 19/05/2014.

Aprobado: 09/12/2014.

Publicado: 28/01/2015.

Enrique Cisneros Zayas, Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric). Boyeros, La Habana, Cuba, Correo electrónico: dptoriego1@iagric.cu