

Cuantificación de área humedecida y balance hídrico en guayaba con riego por goteo

Soil water balance and wetted area quantification for drip irrigation in guava trees

M.Sc. Geisy Hernández Cuello¹, Dr.C. Teresa López Seijas¹¹, M.Sc. Jeny Pérez Petitón¹, Dr.C. Roberto Martínez Varona¹¹, M.Sc. Omar Puig Estrada¹¹

¹ Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

¹¹ Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. El presente trabajo muestra los resultados de trabajos de investigación que definen el manejo del riego para el cultivo del guayabo en las condiciones de estudio. Se empleó riego por goteo. Dos tratamientos de riego fueron probados los que consistieron en reponer el agua al suelo cuando las tensiones de humedad llegaron a un máximo de 30 cb o en un rango entre 30 y 60 cb, respectivamente. El balance hídrico, área humedecida (Ah) y coeficientes de cultivo (Kc) fueron determinados. Los principales resultados sobre determinación de área humedecida mostraron que el área humedecida representó el 12% del Amp. Por otra parte se definió de acuerdo a estos resultados que no es necesario regar más allá de los 40 cm de profundidad (H). La cuantificación del balance hídrico permitió definir el agua disponible, el flujo de agua por debajo de la zona radicular, la evapotranspiración y los coeficientes de cultivo. Se determinaron además, las curvas de coeficientes de cultivo para las condiciones de máxima disponibilidad hídrica. Por último se dan los valores decenales de dichos coeficientes para condiciones de producción.

Palabras clave: evapotranspiración del cultivo (ETc), coeficientes del cultivo (Kc).

ABSTRACT. The objective of this paper was determining irrigation management in guava trees on studies conditions. To substitute the soil water was used drip irrigation. Two irrigation treatment were fixed consisting in restoring the water when the soil water tension arrived to the maximum to 30 cb o between 30 cb and 60 cb, respectively. The wetting area (ah), soil water balance, and the crop coefficients (kc) were determined. Main results about wetting area determinations in guava crop show that wetted area represent 12.00% of the plantation area (amp). It was also determined for this crops that it wasn't necessary to irrigate, beyond 40 cm of depth. The soil water balance quantifications allowed defining the soil water availability, water fluxes beyond the root zone and evapotranspiration and cropping coefficient determinations. It was defined crop coefficient curves for each crop under conditions of maximum soil water availability. It was also defined crop coefficients decennial value for irrigation management under productions conditions..

Keywords: crop evapotranspiration (ETc), crop coefficient (KC).

INTRODUCCIÓN

Los frutos tropicales constituyen una fuente importante de vitaminas y son fundamentales para la salud humana. La guayaba es uno de los frutos que más aportan vitamina C y ha incrementado sus áreas de producción en el país, así como las demandas nacional e internacional. (MINAG, 2009¹).

Durante los últimos años se ha visto incrementado el cultivo de este frutal en Cuba, habiendo sido el riego uno de los elemen-

tos de la tecnología de producción que más ha influenciado en los altos rendimientos que se vienen logrando en el cultivo de esta especie, sobre todo con la variedad "Enana roja cubana"-

A nivel mundial, las decisiones de manejo del riego se basan principalmente en la experiencia local, con información técnica muy limitada. La principal razón para no adoptar muchos procedimientos técnicos existentes es la percepción de los productores

¹ MINAG: Guías Técnicas de la Guayaba, 35pp., Ed. IIFT, La Habana, Cuba, 2009.

de que no es necesario mejorar las prácticas actuales. A medida que mejoran los métodos de riego y el agua escasea más, esta percepción está cambiando y los productores están empezando a ver la necesidad de ser más precisos en el manejo del riego para los huertos y los viñedos. Una mayor regulación gubernamental, e incluso algunas decisiones legales, pueden forzar el tema del manejo de riego mejorado (Steduto *et al.*, 2012).

El clima de nuestro país se ha hecho más cálido, y este incremento de la temperatura ha estado acompañado de una reducción del total de precipitaciones anuales del 10 al 20%, y un aumento de la variabilidad interanual del 5 al 10% (Centella, 1997²; Centella *et al.*, 1998³; Lapinel *et al.*, 2003⁴).

En Cuba en los últimos años se han realizado estudios con el objetivo de precisar los requerimientos hídricos de cultivos, fundamentalmente en, piña, hortalizas, café y otros cultivos (Bonet *et al.*, 2010; Duarte *et al.*, 2012; Cisneros *et al.*, 2015).

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, es necesario realizar acciones hacia un uso eficiente del agua y de los

sistemas de riego. Por lo que el presente trabajo se trazó como objetivos: Definir el área a humedecer y la profundidad del bulbo húmedo para el riego de esta especie en las condiciones de estudio y determinar la evapotranspiración y los coeficientes de cultivo en las especie investigada.

MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la finca La Conchita perteneciente a la CCS Lidia Doce, San Miguel del Padrón, La Habana.

El cultivo objeto de estudio fue el guayabo (*Psidium guajava L*) var. Enana roja cubana (EEA 18 -40). El marco de plantación empleado fue de 2m entre plantas y 5m entre hileras para una densidad de 1000 plantas/ha. El período experimental abarcó 49 décadas.

El cultivo se estableció sobre un suelo de textura franco limosa. En la tabla 1 se muestran algunas sus propiedades hidrofísicas estimadas in situ.

TABLA 1. Algunas propiedades hidrofísicas del suelo

Profundidad (cm)	Límite superior de humedad disponible (LSHD) (% Pss)	Densidad aparente (g/cm ³)	Peso específico	Textura
0-20	37,09	1,13	2,44	Franco-limoso
20-40	44,51	1,16	2,43	Franco-limoso
40-60	44,39	1,32	2,44	Franco-limoso

La entrega de agua al cultivo se realizó con un sistema de riego localizado, empleando la técnica de riego por goteo con emisores AGP de 4 l/h espaciados a 0,75 m insertados en laterales de PBDE de 16 mm. En este caso se empleó un lateral por hileras de plantas.

Tratamientos y diseño experimental

El experimento estuvo conformado por dos tratamientos y seis réplicas, distribuidas en un diseño de bloques al azar. En ésta cada parcela estuvo conformada, por 12 plantas de las cuales 3 correspondieron al área de cálculo.

Los tratamientos consistieron en:

A - regar con un lateral por hilera de plantas cuando la tensión de humedad en el suelo estuvo entre 0- 30 cb.

B- regar con un lateral por hilera de plantas cuando la tensión de humedad en el suelo estuvo entre 30- 60 cb.



FIGURA 1. Riego del cultivo del guayabo con un lateral por hilera de plantas cuando la tensión de humedad en el suelo estuvo entre 0- 30 cb.



FIGURA 2. Riego del cultivo del guayabo con un lateral por hilera de plantas cuando la tensión de humedad en el suelo estuvo entre 30- 60 cb.

² CENTELLA A., L. NARANJO y L.R. PAZ: Variaciones y cambios del clima de Cuba, 59pp., Instituto de Meteorología, Centro Nacional del Clima, La Habana, Cuba, 1997.

³ CENTELLA, A.: Variabilidad y cambios del clima en Cuba, Reporte técnico del Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, 1998.

⁴ LAPINEL B., FONSECA, C., CUTIÉ, V., PÉREZ, D., AROCHE, R., BÁEZ, R., RIVERO, R., RIVERO, I., y R. PÉREZ: La sequía en Cuba, 243pp., Centro del Clima, Instituto de Meteorología, La Habana Cuba, (monografía), 2003.

Manejo del riego

El riego se aplicó con dosis fijas (según tensión fijada en cada tratamiento) e intervalo variable.

Para transformar la lectura tensiométrica en tiempo de riego se utilizó el modelo:

$$\theta_v = 0,506 - 0,00021 \cdot T + 1,101 \cdot 10^{-7} \cdot T_2$$

Calculándose, posteriormente el tiempo de riego por la siguiente expresión:

$$tr = \frac{10 \cdot H \cdot Pv(Cc - \theta g)}{Cu \cdot Ea \cdot qi} \cdot Ah$$

donde:

tr- tiempo de riego (hora);

H- profundidad a humedecer (m);

Pv- peso volumétrico (g/cm³);

Cc- capacidad de campo;

θg- humedad presente en el suelo (% Pss);

Ah- área humedecida por planta (m²);

Cu- coeficiente de uniformidad;

Ea- eficiencia de aplicación;

qi- gasto instalado (L/h/planta).

La dosis parcial aplicada estimada en L/planta, se determinó a partir de la relación:

$$Dp = tr \cdot qi$$

Levantamiento del bulbo húmedo para la determinación del área humedecida

Utilizando la barrena para la toma de muestras y el método gravimétrico para la determinación de la humedad, fue levantada del suelo una red cuadrículada de humedecimiento, formada por puntos horizontales cada 30 cm y verticales cada 20 cm. En esta cuadrícula fueron interpoladas las isohídricas que definieron el perfil húmedo. El bulbo húmedo fue limitado por la isohídrica 32% PSS, e isohídrica 36% PSS, respectivamente que representaron el 95% de la capacidad de campo (Cc). El radio húmedo (R) se midió a 30 cm de profundidad y el área humedecida fue determinada por:

$$Ah = 2R \cdot Sp$$

donde:

Ah: área humedecida;

R: radio húmedo;

Sp: s entre plantas.

Determinación de la evapotranspiración y los coeficientes de cultivo (Kc)

Los componentes del balance hídrico en cada uno de los puntos se determinaron a partir de la ecuación general de Ba-

lance de Masa como la presenta Hillel, (1972):

$$\Delta A = P + I - (D + R + Etr)$$

donde:

ΔA: variación en la lámina almacenada hasta la profundidad considerada para el balance calculada como:

$$A = \int_0^z \theta dz \cong \bar{\theta} \cdot Z$$

$$\Delta A = \Delta \bar{\theta} \cdot Z$$

donde:

θ: humedad volumétrica y z: profundidad en el perfil de suelo.

P: Pprecipitación en mm.

I: agua aplicada durante el riego en mm.

R: escurrimiento superficial, que fue despreciado por ser un área pequeña y relativamente plana, además los valores de (P+I) no sobrepasaron en ningún momento el límite de saturación del suelo.

D: drenaje interno o redistribución, determinado como la integral del flujo de drenaje a la profundidad de la zona considerada para el balance (L) en un intervalo de tiempo determinado (Δt=t2-t1):

$$D = \int_{t_1}^t q_L dt \cong (\bar{q} \cdot L) \Delta t$$

donde el flujo q se determinó a partir de la ley de Darcy:

$$q = -K(\theta) \frac{dH}{dz}$$

donde:

K(θ)- función conductividad hidráulica - humedad volumétrica, determinada in situ para estos suelo por López (1996⁵) y López (2001⁶), a partir del método del Drenaje Interno.

dH/dz: gradiente de potencial total del agua en el suelo considerado como H= h + z, donde z es el potencial gravitacional, considerado como la profundidad en el perfil y h- el potencial matricial determinado a partir de las lecturas de tensiómetros instalados a 20, 40 y 60cm de profundidad. Este se calcula numéricamente como:

$$\frac{(h + z)_{z+i} - (h + z)_{z-i}}{(Z + i) - (Z - i)}$$

ET: Evapotranspiración del cultivo que se calcula por despeje.

Conociendo la ET para cada período analizado se determinaron los coeficientes de cultivo a partir de las relaciones:

$$Kc = ET / ETo$$

donde:

Eto se estimó por el método de Penman-Monthey.

⁵ LÓPEZ, T.: Dinámica del agua en un suelo Ferralítico Rojo compactado del sur de la provincia de la Habana, 71pp., Tesis (presentada en opción al título de Master en Ciencias Agrícolas, especialidad Riego y Drenaje), UNAH-IIRD, La Habana, Cuba, 1996.

⁶ LÓPEZ, T.: Caracterización del movimiento del agua en suelos irrigados del sur de La Habana: contribución metodológica al procedimiento actual para la determinación de los Balances Hídricos, pp. 30-32, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, especialidad Riego y Drenaje), INIFAT-IIRD, La Habana, Cuba, 2001.

Los valores experimentalmente calculados Kc, en función del tiempo de desarrollo del cultivo, se ajustaron a partir de un análisis de regresión no lineal y partiendo de los modelos de mejor ajuste se determinaron los valores finales de Kc que se recomiendan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como puede observarse en la Figura 3, un bulbo bastante bien conformado fue logrado al interpolar la isohídrica 36; 24 horas después de haber aplicado la dosis máxima, con un lateral por hilera de plantas. El bulbo húmedo alcanzó un área humedecida (Ah) de 1,12 m² que representó el 12% del área del marco de plantación (Amp) y 16.97% del área

sombreada (As). Los resultados obtenidos apuntan a que no es necesario regar más allá de los 40 cm de profundidad. En relación a la formación del bulbo de humedecimiento en el riego por goteo, Pizarro (1996), señaló a pesar de que los emisores de riego localizado arrojan pequeños caudales, cuando el agua empieza a fluir incide sobre una superficie muy reducida del suelo, provocando un pequeño charco, cuyo radio se va extendiendo a medida que el riego continúa. Por su parte Keller y Bliesner (1990), proponen en cultivos como los frutales, humedecer entre un tercio y dos tercios de la sección horizontal del sistema radicular, es decir, conseguir un porcentaje de suelo mojado entre 33% y 67%, en regiones con lluvias adicionales y suelos de textura media ó arcillosa este valor puede tomarse inferior a un tercio.

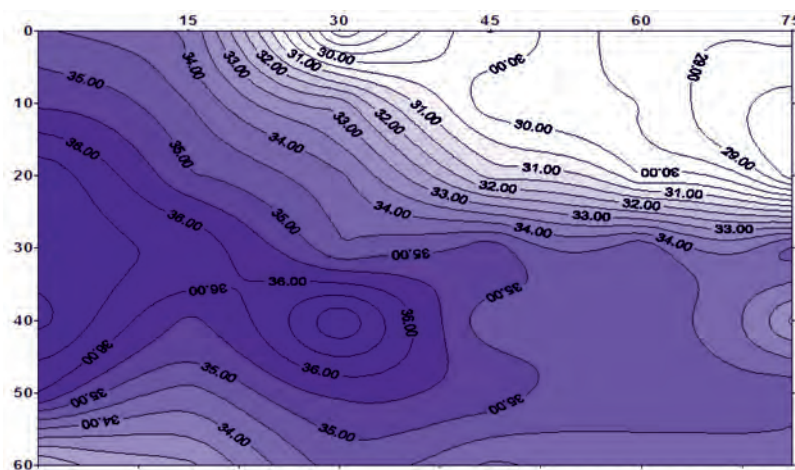


FIGURA 3. Conformación del bulbo húmedo creado por un lateral por hileras de plantas.

Balance hídrico

La Figura 4, muestra los elementos del balance hídrico decenal en el período experimental para la variante más óptima. Se observa que en general el riego cubre las necesidades hídricas del cultivo obteniéndose un mejor aprovechamiento del mismo, al regar con dosis fijas según tensión fijada e intervalo variable, por su parte Hernández *et al.* (2010), en este mismo cultivo al aplicar el riego con dosis e intervalos fijos de riego implicó una ineficiencia del mismo durante los primeros estadios del cultivo pues en este período los requerimientos hídricos fueron menores según lo indica el comportamiento de la evapotranspiración del cultivo (etc.). Fornaris (2011), al realizar balance hídrico en la asociación aguacate-guayaba encontró que en las decenas de menores ingresos efectivos, la ETc solo representó entre el 50%-60% de la ET0. Este resultado indica un déficit de agua para la asociación estudiada, la humedad en el suelo se encontraba cerca del umbral inferior del agua fácilmente aprovechable, ya que según Hernández *et al.* (2005⁷), al estudiar el cultivo de la guayaba, que representa en esta asociación el cultivo de máxima demanda, en su fase de producción el consumo real del mismo, ETc, debe al menos igualarse a la evapotranspiración de referencia, ET0.

En trabajos en la estimación de la evapotranspiración de los cultivos, a partir de balances hídricos en el suelo, reportan que la precisión en la estimación de la evapotranspiración dependerá en mayor medida de la precisión con que se logre medir las variaciones diarias de la humedad en el perfil del suelo (Ram Orem, 1998), en Cuba Medina *et al.* (2012), al modelar el efecto de la precipitación en el balance hídrico encontró bajo los escenarios considerados en el trabajo que el número de riegos necesario para suplir una determinada demanda depende de manera análoga de la frecuencia y la distribución de las precipitaciones. Mientras, la percolación está sujeta básicamente a las variaciones de la lámina de precipitaciones a partir de un determinado umbral. Los análisis sugieren que el problema actual con la eficiencia del riego se relaciona más con las dosis actuales que con las frecuencias de riego. Por su parte en el balance efectuado en las condiciones de estudio, se pueden apreciar pérdidas por drenaje muy pequeñas por las propiedades hidrofísicas e hidráulicas del suelo, ya que es un suelo de textura más arcillosa, con cambio de textura, y cambios en la cualidad de la arcilla. Por último la variación de almacenamiento demostró grandes volúmenes de agua almacenada en el perfil.

⁷ HERNÁNDEZ, G.; MARTÍNEZ, R.; PUIG, O.: Respuesta del guayabo (*Psidium guajava*, L.) a diferentes tensiones de humedad en el suelo con riego localizado. En Memorias del Congreso Internacional CUBARIEGO 2005, C. de la Habana, Cuba, 2005.

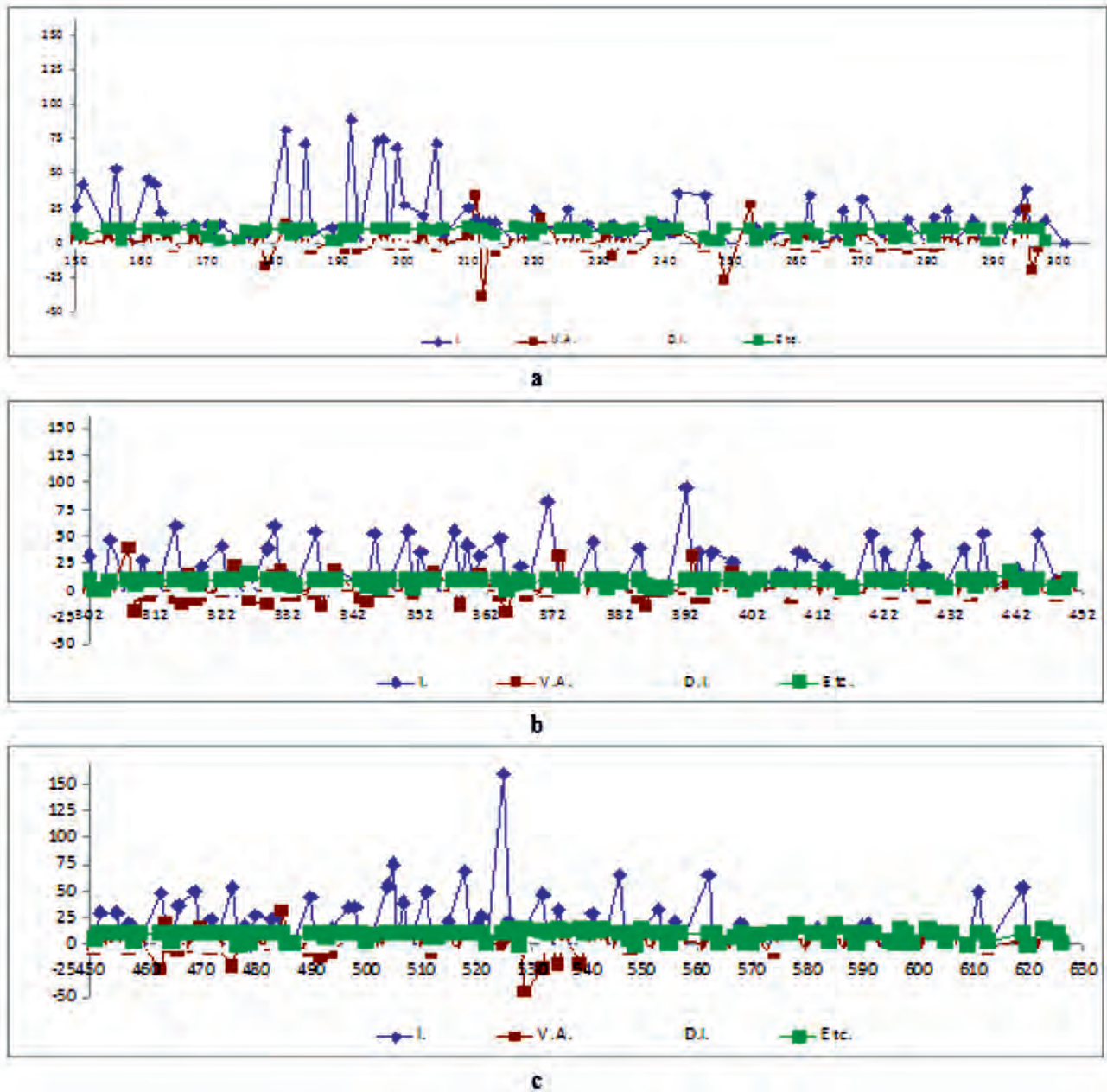


FIGURA 4. Balance hídrico decenal para la variante más óptima.

Evapotranspiración y coeficientes del cultivo

Las Figuras 5 y 6, muestran las curvas de evapotranspiración del cultivo y los coeficientes del cultivo, respectivamente para el periodo analizado, se obtuvieron rangos de valores decenales y diarios de la ETC entre 40 mm–69,5 mm y 3,3 mm–6,9 mm respectivamente, con un valor total de 1139 mm (Figura 5). El coeficiente de cultivo (Kc) alcanzó valores globales de 1,29 y punta de 1,36 para la variante que produjo mayores rendimientos, definiéndose dichos valores como el límite óptimo de evapotranspiración de la guayaba sin limitaciones de agua disponible en el suelo. Los valores de coeficiente de cultivo determinados para estas decenas no superan los coeficientes de cultivo máximos reportados por la FAO (Allen *et al.* 2006), para cultivos de aguacates y cítricos en condiciones no tropicales,

para los cuales se reportan Kc de 0,85 en la fase de producción establecida, para el cultivo de la guayaba la FAO no reporta valores de coeficiente de cultivo (Kc).

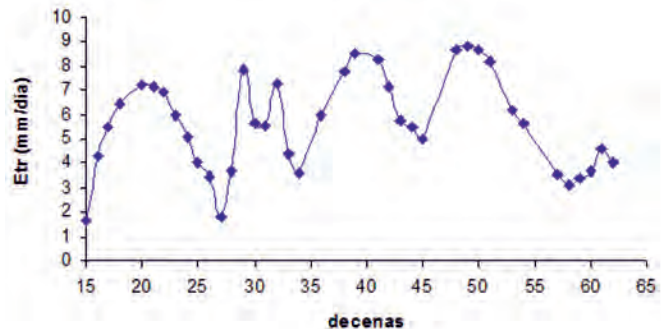


FIGURA 5. Evapotranspiración decenal del cultivo.

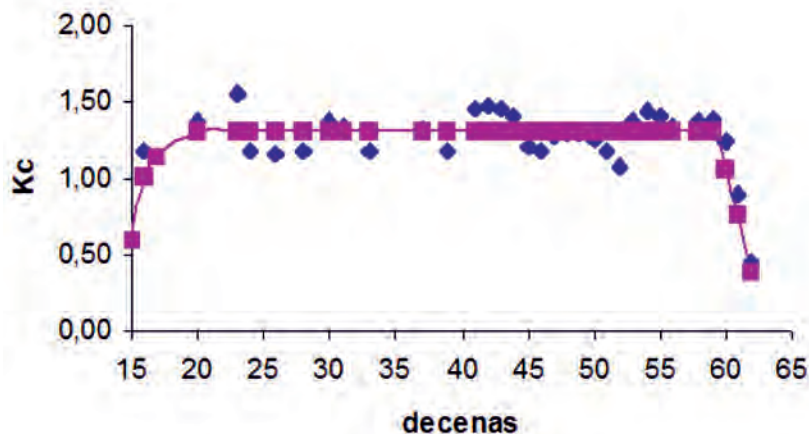


FIGURA 6. Coeficientes del cultivo para la variante de mayores rendimientos.

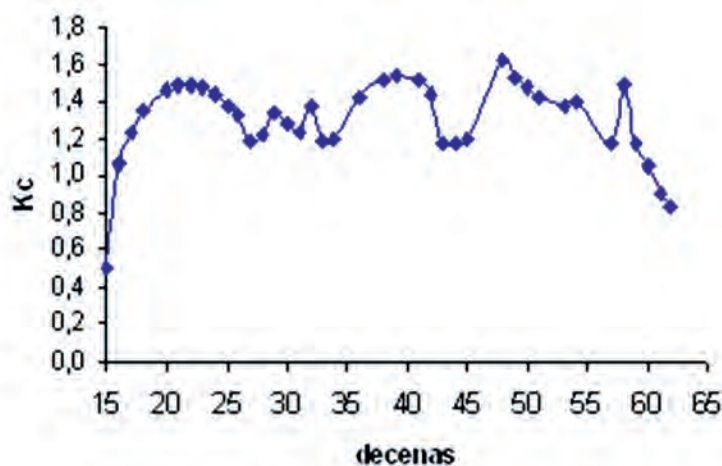


FIGURA 6a. Coeficiente del cultivo ponderado para condiciones de producción.

CONCLUSIONES

- En el cultivo de guayaba el área humedecida fue de 1,2 m² que representó el 12% del Amp y el 16,97% del As.
- No es necesario regar más allá de los 40 cm de profundidad (H).
- Emplear los coeficientes de cultivos (Kc) de acuerdo con las curvas dadas en el presente documento, utilizando los valores globales de 1,29 y puntas de 1,36.

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.
- BONET, C.; ACEA, I.; BROWN, O.; HERNÁNDEZ, M.; DUARTE, C.: "Coeficientes de cultivo para la programación del riego de la piña" *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 19(3): 23-27, 2010.
- CISNEROS, E., REY, R., MARTÍNEZ, R., LÓPEZ, T., GONZÁLEZ, F.: "Evapotranspiración y coeficientes de cultivo del cafeto en la provincia de Pinar del Río", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN 1010-2760, Vol. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 24(2): 23-30, 2015.
- DUARTE, C.E.; ZAMORA, E; LEÓN, M. "Efecto del coeficiente de estrés hídrico sobre los rendimientos del cultivo de cebolla", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 21(4): 42-47, 2012.
- FORNARIS, L.; HERNÁNDEZ, G.; LÓPEZ, T.: "Efecto del manejo del riego en la asociación aguacate-guayaba", *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761, 1(2): 67-75, 2011.
- HERNANDEZ, G; PÉREZ, J; MARTÍNEZ, R. y LÓPEZ, T.: "Respuesta productiva del guayabo al manejo del agua en condiciones de Agricultura Urbana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 19(3): 1-6, 2010.
- HILLEL, D.: *The field water balance and water use efficiency*, 100pp., (T. T. Kozlowski, Ed.) Academic Press, New York, USA, 1972.
- KELLER, J.; KARMELLI, D.: *Trickle irrigation design*, 133pp., Rain Bird. Corp. Glendora, California, USA, 1974.

- MEDINA, H.G.; CORONADO, J.G.; RUIZ, M.E. "Modelación del efecto de la variabilidad de las precipitaciones en los términos del balance hídrico de un suelo Ferralítico Rojo", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, 21(4): 36-41, 2012.
- PIZARRO, F.: *Riegos Localizados de Alta Frecuencia*, 511pp., Editorial S.A. Mundi-Prensa Libros, 3ª Edición, ISBN: 9788471146106, Madrid, España, 1996.
- RAM OREN, R.; PHILLIPS, N.; KATUL, G.; EWERS, B.E.; PATAKI, D.E.: *Scaling xylem sap flux and soil water balance and calculating variance: a method for partitioning water flux in forests. American Scientist*, ISSN: 0003-0996, E-ISSN: 1545-2786, 55: 191-216, 1998.
- STEDUTO, P.; HSIAO, TH. C.; FERERES, E.; RAES, D. *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*, 510pp., Estudio FAO: *Riego y Drenaje*, 66. Ed. FAO, ISSN: 0254-5284, Roma, Italia, 2012.

Recibido: 5 de marzo de 2015.

Aprobado: 13 de noviembre de 2015.

Publicado: 30 de diciembre de 2015.

Geisy Hernández Cuello, Inv. Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), Autopista Nacional km. 231/2 y carretera de Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Correo electrónico: geisyh@unah.edu.cu

Teresa López Seijas, Correo electrónico: directoradjunta@iagric.cu

Jeny Pérez Petitón, Correo electrónico: jpetiton@unah.edu.cu

Roberto Martínez Varona, Correo electrónico: dptoambiente2@iagric.cu

Omar Puig Estrada, Correo electrónico: dptoriego10@iagric.cu



Universidad Agraria de La Habana

CENTRO DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA



Investigación de la Mecanización Agrícola, utilizando Sistemas Conservacionistas y Sustentables.



Cursos y Entrenamientos de Posgrado, Maestrías y Doctorados en Ingeniería Agrícola;



Editor de la Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, publicación trimestral en idioma español;



Servicios Científico-Técnicos:



Solicitudes de ofertas a:
Dr.C. Ernesto Ramos Carbajal
Centro de Mecanización Agropecuaria
Autopista Nacional y Carretera de Tapaste, km 23, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Apdo. 18-19
Tel.: (53)(47) 864346
E_mail: carbajales@unah.edu.cu

Maquinaria Agrícola & Instrumentos de Medición:

- Balanza Electrónica para el Pesaje de Ganado;

- Balanzas para Cerdos y Ovinos.

Laboratorio de Oleohidráulica:

- Descontaminación de Aceites;
- Fabricación de Equipos Portátiles de Filtraje de Aceites;
- Recuperación (Emboquillado) & Fabricación de Mangueras;
- Diagnóstico y Evaluación de Circuitos Oleohidráulicos y sus Componentes;
- Cursos y Entrenamientos de Capacitación en Olehidráulica.