



Comportamiento de la zona radical activa del banano en un Ferrasol bajo riego por goteo superficial y subsuperficial

Behavior of the active area of roots of the banana tree in a Ferrasol irrigated for surface and subsurface drip irrigation

Dr.C. Manuel Reinaldo Rodríguez García, Dr.C. Teresa López Seija

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

RESUMEN. El objetivo fundamental del presente trabajo es profundizar en el conocimiento de los procesos que rigen el comportamiento de la zona radical activa del banano en un suelo Ferrasol bajo riego por goteo superficial y sub superficial. Se analizan los resultados de experiencias realizadas en la Estación de Riego, sita en Alquizar, al sur de La Habana. Los balances hídricos se determinaron en cada tratamiento por el método de Balance de Masas a partir de la caracterización hidrodinámica del perfil del suelo. Se concluye que en el tratamiento superficial el 80% de la disminución total de la reserva de agua en el perfil del suelo ocurre en las profundidades de 0–45 cm, así como la mayor contribución a la evapotranspiración total del cultivo, mientras en los tratamientos subsuperficiales la zona de mayores variaciones diarias de la reserva de agua, va aumentando hacia las capas inferiores (30 a 70 cm), lo que indica un aumento de la zona de extracción de agua por las raíces, patentizado en el mayor aporte de las capas más profundas del suelo a la evapotranspiración total del cultivo.

Palabras clave: Riego por goteo subterráneo; zona radical activa; banano.

ABSTRACT. The fundamental objective of the present work is to deepen in the knowledge of the processes that govern the behavior of the active area of roots of banana in a Ferrasol soil under surface and subsurface trickle irrigation. The results of experiments carried out in the Irrigation Station, located in Alquizar, to the south of Havana are analyzed. The water balance was determined in each treatment by the method of Balance of Masses starting from the hydrodynamic characterization of the soil profile. The analysis of the results suggests as conclusions that in the surface treatment, the 80% of the total decrease of the water reserve in the soil profile occurs in depths from 0 to 17,7 inches, as well as the biggest contribution to the total crop evapotranspiration, while in the subsurface treatments the area of bigger daily variations of the water reserve, goes increasing toward the inferior layers from 11,8 to 27,6 inches, what shows an increase of the area of water extraction by the roots, revealed in the biggest contribution of the soil deepest layers to the total crop evapotranspiration.

Keywords: subsurface trickle irrigation, active area of roots, banana.

INTRODUCCIÓN

El suelo y el agua son dos de los recursos más importantes del medio natural y de la agricultura, en particular de la agricultura de regadío. La necesidad de controlarlos y manejarlos eficientemente sobre una base sostenible es uno de los más vitales problemas de nuestra época debido al uso irracional que se ha hecho de ellos (Burton *et al.*, 1999).

El sistema agrícola se define como un continuo donde todos los procesos están interrelacionados y el estado hídrico de las plantas dentro del mismo está condicionado por la demanda climática, las características del cultivo y las propiedades hidráulicas del suelo que definen el flujo del agua, en particular por su conductividad hidráulica (Reidhardt, 1996).

Caracterizar hidrodinamicamente los suelos en estudio a partir de sus propiedades hidráulicas fundamentales y definir la disponibilidad del agua en ellos para las plantas a través de la

realización de los balances hídricos con el método del Balance de Masas, es de primordial importancia a partir de la precisión que se alcanza en la estimación de la evapotranspiración de los cultivos y su implicación en la propuesta de manejo del riego que se genera.

No tener en cuenta las pérdidas por redistribución o drenaje interno dentro de los egresos del balance hídrico puede conllevar generalmente a la sobrestimación y/o subestimación de la Et del cultivo. Esto va a depender entre otros factores de la humedad precedente al riego y la cantidad de los ingresos que se produzcan por riego y lluvia.

Resultados de numerosas investigaciones entre las que se destacan las de Persaud y Khosla (1999); Peat *et al.* (2000) y Franco *et al.* (2000) han demostrado que la utilización de esquemas simplificados puede llevar a una imprecisión en la estimación de los componentes del balance hídrico, lo que repercute fundamentalmente en la predicción del almacenamiento del agua en la zona radical y la evapotranspiración; información ésta que constituye la base para determinar

normas y pronosticar el momento del riego.

El presente trabajo se trazó como objetivo fundamental, profundizar en el conocimiento de los procesos que rigen el comportamiento de la zona radical activa del banano en un suelo Ferrasol bajo riego por goteo superficial y subsuperficial.

MÉTODOS

El trabajo experimental se realizó en la UEB de Prueba Puledo perteneciente al Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, ubicada en el municipio Alquizar de la provincia de Artemisa, situado a los 22° 47' de latitud Norte y los 82° 36' de longitud Oeste, a 6 m sobre el nivel del mar.

El suelo está clasificado como Ferralítico Rojo compactado (Rhodic Ferralsol según la clasificación FAO/UNESCO) (Instituto de Suelos, 1996a y b), y el mismo ha sido ampliamente estudiado y caracterizado en cuanto a sus propiedades físicas y químicas (Cid, 1995 y López, 2002) (Tabla 1).

TABLA 1. Análisis granulométrico, capacidad de campo (Cc), densidad real (Dr), densidad aparente (Da) para la Cc y porosidad total (Pt) en el perfil del suelo Ferralítico Rojo compactado (Cid, 1995)

Prof. (cm)	Cc (g/g)	Da a Cc (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Pt (%)
0-30	0,338	1,18	2,55	59,17	22,39	18,50	53,71
31-80	0,342	1,21	2,52	64,12	13,78	22,10	52,05
80-100	0,337	1,26	2,48	51,78	23,50	24,71	49,08

Las propiedades hidráulicas del perfil del suelo, imprescindibles para la caracterización hidrodinámica del mismo, se resumen en las Tablas 2 y 3 según los resultados reportados por López (2002).

TABLA 2. Valores de los coeficientes y estadígrafos de las curvas de retención ajustadas al modelo de van Genuchten para el suelo estudiado (López, 2002)

Prof. (cm)	Suelo Ferralítico Rojo compactado			
	α	Error Std.	n	Error Std.
0-20	0,397	0,352	1,083	0,015
20-40	1,031	0,120	1,092	0,073
40-60	0,608	0,497	1,102	0,017
60-80	0,917	0,860	1,092	0,016
80-100	0,442	0,399	1,084	0,016

Nota: Todos los coeficientes resultaron significativos para $p < 0,001$.

El cultivo con que se trabajó fue el banano FHIAT 18 plantado en doble hilera y con marco de plantación de 2,4 m de narigón, 2 m de camellón y 4 m de calle, que constituye un área vital por plantón de 7,2 m².

Se utilizó el sistema de riego localizado por goteo, con goteros autocompensantes de caudal medio de 3,6 L/h, dispuestos en franja continua de humedecimiento y espaciados a 0.6 m, en laterales de PEBD de 16x13 mm dispuestos uno por hilera de plantas.

TABLA 3. Valores de los coeficientes y estadígrafos de las regresiones efectuadas para la conductividad hidráulica no saturada y la humedad volumétrica ($K = e(a+b\theta)$) del suelo Ferralítico Rojo compactado (López, 2002)

Prof. (cm)	Coef.	Valor Estimado	Error Estándar	MODELO	
				Coef. Correlación	Error Estándar
20	a	-17,790	1,993	0,895	1,438
	b	40,400	4,874		
30	a	-22,292	2,413	0,9050	1,243
	b	48,854	5,565		
40	a	-28,909	4,632	0,819	1,754
	b	60,194	10,228		
60	a	-38,211	6,367	0,811	1,783
	b	81,109	14,178		
80	a	-44,945	8,722	0,770	1,960
	b	97,268	19,517		
100	a	-48,530	9,436	0,771	1,878
	b	104,924	21,029		

Nota: Todos los coeficientes obtenidos así como el análisis de varianza de los modelos resultaron significativos para $p < 0,0001$.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, las parcelas experimentales estuvieron conformadas por veinte plantas, de las cuales se utilizaron seis plantas como área de cálculo y las demás fueron áreas de bordes.

Los tratamientos aplicados fueron los siguientes:

- T0 - Riego por goteo superficial y fertirrigación.
- T15 - Riego por goteo sub superficial a 15 cm de profundidad y fertirrigación.
- T30 - Riego por goteo sub superficial a 30 cm de profundidad y fertirrigación.
- T45 - Riego por goteo sub superficial a 45 cm de profundidad y fertirrigación.

Durante el período de investigación, las plantas recibieron el mismo volumen de agua de riego, éste se efectuó de acuerdo con la estrategia de intervalo fijo (cada dos días) y dosis variable en función del coeficiente bioclimático (k_b) expuesto por (Martínez 1996) y la evaporación promedio de los dos días anteriores al riego, obtenida del tanque evaporímetro clase A ubicado en la estación agro meteorológica de la finca experimental.

Para el control de los perfiles de humedad y el potencial del agua del suelo, en cada tratamiento analizado se instalaron 2 baterías de tensiómetros para el seguimiento de las variaciones de la tensión del agua en el suelo, a las profundidades de 15, 30, 45, 60, y 90 cm. Los registros de los tensiómetros se llevaron diarios y se hicieron determinaciones de humedad volumétrica con sonda de neutrones. Para la conversión de las lecturas de la sonda en valores de humedad volumétrica se utilizaron las ecuaciones de calibración obtenidas anteriormente para las condiciones de estudio por López *et al.* (1997).

Los balances hídricos se determinaron en cada tratamiento por el método de Balance de Masas Hillel (1972), a partir de la caracterización hidrodinámica del perfil del suelo reportada por López (2002) y utilizando la ecuación general de balance definida originalmente como:

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

donde:

ΔA - variación en la lámina almacenada hasta la profundidad considerada para el balance en mm;

P- ingresos por lluvia entre la fecha anterior y la actual, en mm;

R- ingresos por riego entre la fecha anterior y la actual, en mm;

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

DI- drenaje interno ó pérdidas por redistribución de la humedad en el suelo entre la fecha anterior y la actual, 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 ($\Delta t = t_2 - t_1$).

A partir de la ecuación general de balance (ecuación 1), se calculó la evapotranspiración del cultivo (**Et**) para el período de tiempo analizado, en mm/período, según la expresión:

$$Et = P + R - DI - \Delta A \quad (2)$$

La variación de la lámina de agua almacenada a la profundidad radical (ΔA_{zr}) entre la fecha anterior (**t-1**) y la fecha

actual (**t**), en mm, se calcula según la expresión:

$$\Delta A_{zr} = A_{zr}|_t - A_{zr}|_{t-1} \quad (3)$$

donde:

A_{zr} -valor de la lámina de agua almacenada a la profundidad radical (**zr**) para la fecha actual, en mm. La cual se calcula según la expresión:

$$A_{zr} = \int_0^{zr} \theta dz \cong \sum_0^{zr} \theta \Delta z = \bar{\theta} \cdot zr \cdot Zr \quad (4)$$

donde:

θ_{zr} -humedad volumétrica a la profundidad radical, en $cm^3 \cdot cm^{-3}$;

Zr -profundidad radical del cultivo, en m.

El drenaje interno ó pérdidas por redistribución de la humedad en el suelo entre la fecha anterior y la actual, se determina mediante la ecuación siguiente:

$$DI = \int_{t_1}^{t_2} q_z dt \cong (\bar{q} \cdot z) \Delta t \quad (5)$$

donde: q es el flujo en cm/día, determinado por la ley de Darcy para un suelo no saturado como (Reidhardt, 1996):

$$q = -K(\theta) \frac{dH}{dZ} \quad (6)$$

donde:

$K(\theta)$ - es la conductividad hidráulica no saturada (cm/día) en función de la humedad volumétrica (cm^3/cm^3) y dH/dZ es la variación de potencial total calculada numéricamente como:

$$\frac{dH}{dZ} = \frac{(h+z)_{z+i} - (h+z)_{z-i}}{(Z_r + i) - (Z_r - i)} \quad (7)$$

donde:

“ i ” es el intervalo de medición de la humedad y “ $H = h+z$ ” es el potencial total, producto de la suma del potencia matricial “ h ” y el potencial gravitacional “ z ”, en mm.

El proceso de redistribución de la humedad dentro del bulbo húmedo, el comportamiento de los flujos de agua en la zona radical y el proceso de extracción de agua por las raíces en cada uno de los tratamientos de riego aplicados, se analiza a través de una secuencia de dos riegos correspondientes al período del 8 al 12 de mayo del año 1999, en el cual no existieron ingresos por lluvia. El riego se efectuó con alta frecuencia en intervalo de dos días y con dosis de 6 mm en el día 9 y 12 mm en el día 11.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se analiza el comportamiento de la variación diaria de la reserva de agua y el proceso de extracción de agua por las raíces en las diferentes profundi-

dades del perfil del suelo, en cada uno de los tratamientos de riego aplicados.

Si se analiza la variación diaria de la lámina de agua almacenada en el suelo para los distintos tratamientos (Figura 1), se puede apreciar como en el tratamiento superficial el riego aumenta la reserva de agua en las capas superficiales en mayor medida que en

los tratamientos sub superficiales y el 80% de la disminución total de esta reserva en el perfil del suelo, a las 24 horas, ocurre en las profundidades de 0 a 45 cm, lo que evidencia la actividad radical respecto a la extracción de agua en esa zona, pues según reportes de Rodríguez *et al.* (2005) con el riego por goteo superficial el 90% de las raíces exploran hasta una profundidad de 50 cm.

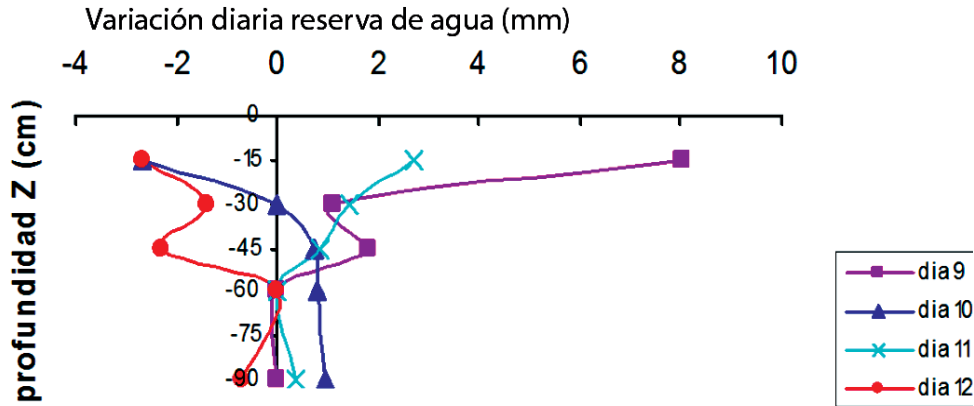


FIGURA 1. Variación de la lámina de agua almacenada en el perfil del suelo con respecto al perfil inicial antes del primer riego para el tratamiento T0.

En los tratamientos subsuperficiales se observa como a medida que la profundidad del emisor es mayor, la zona de mayores variaciones diarias de la reserva de agua va en aumento hacia las capas inferiores, lo que indica un aumento de la zona de extracción de agua por las raíces.

Así para el tratamiento T15 (Figura 2), la zona de mayores variaciones diarias de la reserva de agua se localiza a profundidades entre 30 cm y 60 cm, en correspondencia a la mayor profundidad del sistema radical con relación al tratamiento T0. Rodríguez *et al.* (2005) exponen para esta profundidad de colocación del lateral de goteo, crecimiento del sistema radical hasta la profundidad de 60 cm.

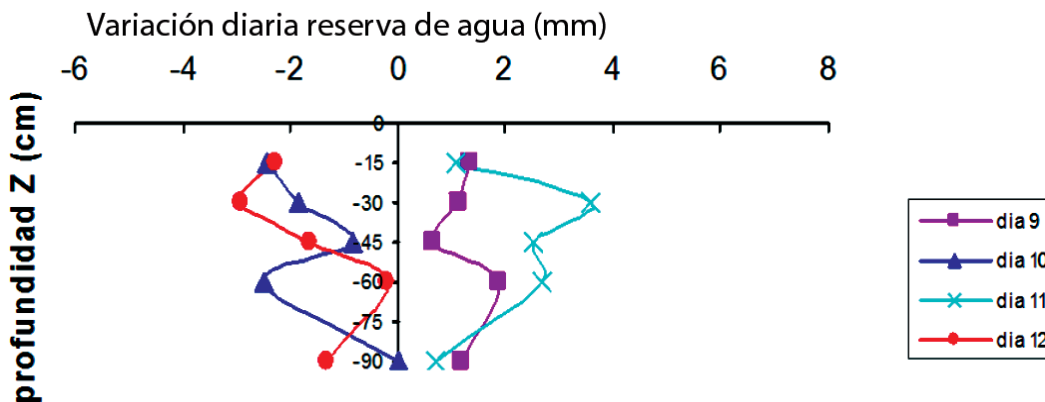


FIGURA 2. Variación de la lámina de agua almacenada en el perfil del suelo con respecto al perfil inicial antes del primer riego para el tratamiento T15.

En el caso de los tratamientos subsuperficiales T30 y T45 (Figuras 3 y 4), la zona de mayores variaciones diarias de la reserva de agua va en aumento hacia las capas inferiores (45 – 70 cm), debido a que estos tratamientos alcanzan abundante cantidad de raíces a estas profundidades. De acuerdo a los resultados expuestos por Rodríguez *et al.* (2005) en estos dos tratamientos se obtienen profundidad del sistema radical del banano de hasta 70 cm de profundidad.

Lo anterior puede comprobarse a partir de un balance de masas realizado para cada capa del perfil del suelo y que permite apreciar la variación del componente de cada capa sobre la evapotranspiración total del cultivo (Figura 5). En el tratamiento

superficial la mayor contribución a la evapotranspiración total del cultivo ocurre en las capas superficiales del perfil del suelo (0 a 40cm), siendo casi nulo el aporte de las capas más profundas. Estos resultados están en correspondencia con lo planteado para el cultivo del banano por: Shmuelli (1953); Martínez (1984); Martínez y Ortega (1988); Da Silva (1997); Dueñas *et al.* (1998); De Castro (2002) y Ferreira y Borges (2003).

En los tratamientos soterrados el aporte de las capas más profundas del suelo a la evapotranspiración va en aumento a medida que la colocación de los emisores es a mayor profundidad y está en correspondencia con la densidad de raíces que se observan por profundidades en los distintos tratamientos.

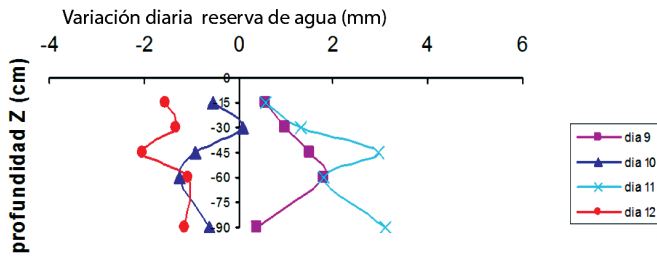


FIGURA 3. Variación de la lámina de agua almacenada en el perfil del suelo con respecto al perfil inicial antes del primer riego para el tratamiento T30.

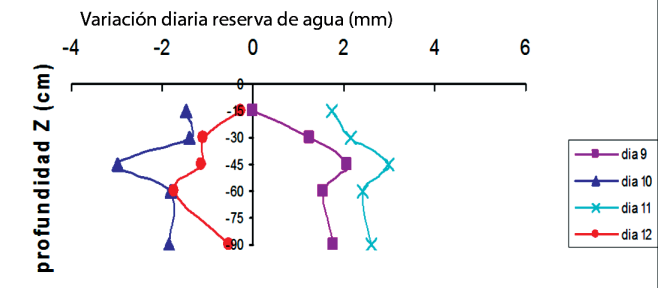


FIGURA 4. Variación de la lámina de agua almacenada en el perfil del suelo con respecto al perfil inicial antes del primer riego para el tratamiento T45.

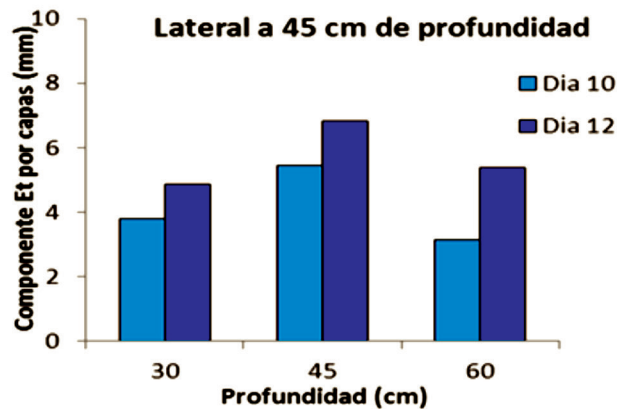
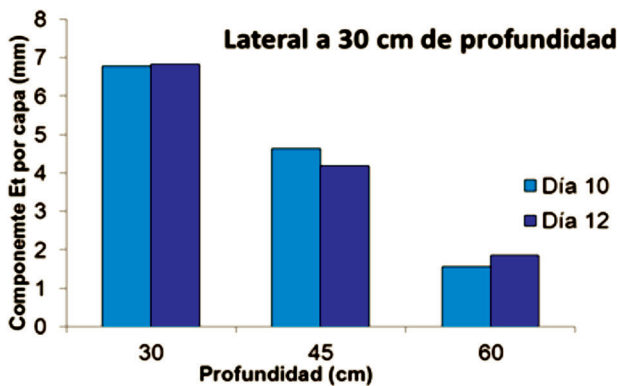
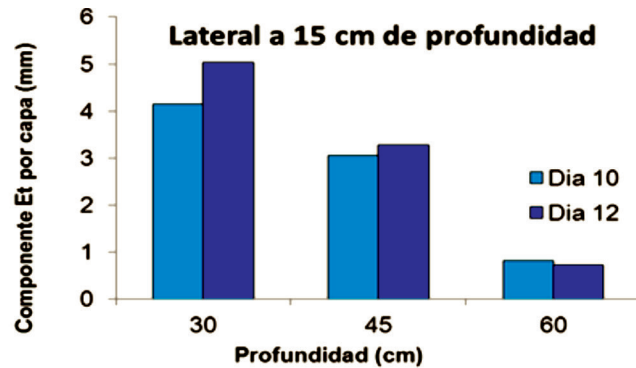
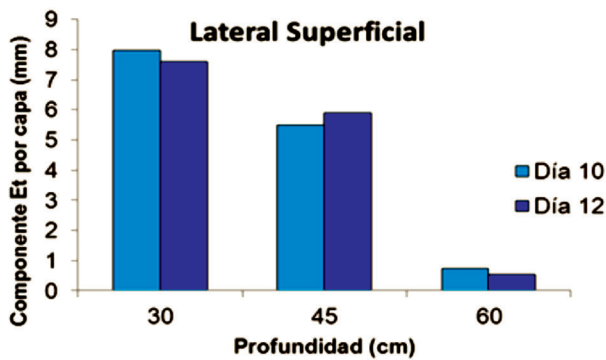


FIGURA 5. Contribución de las diferentes capas del perfil del suelo a la evapotranspiración total del cultivo para cada tratamiento analizado.

CONCLUSIONES

- En el tratamiento superficial, el riego aumenta la reserva de agua en las capas superficiales en mayor medida que en los tratamientos sub superficiales.
- El 80% de la disminución total de la reserva de agua en el perfil del suelo, en el tratamiento superficial, ocurre en las profundidades de 0 – 45 cm, lo que evidencia una actividad radical efectiva en esa zona, al encontrarse en la misma el 90% de las raíces activas del banano.
- En el tratamiento superficial la mayor contribución a la evapotranspiración total del cultivo ocurre en las capas superficiales del perfil del suelo (0 a 40 cm), siendo casi nulo el aporte de las capas más profundas.

- En los tratamientos sub superficiales se observa como a medida que la profundidad del emisor es mayor, la zona de mayores variaciones diarias de la reserva de agua se va aumentando hacia las capas inferiores (30 cm – 70 cm) lo que indica un aumento de la zona de extracción de agua por las raíces.
- En los tratamientos soterrados el aporte de las capas mas profundas del suelo a la evapotranspiración va en aumento a medida que la colocación de los emisores es a mayor profundidad y esta en correspondencia con la densidad de raíces que se observan por profundidades en los distintos tratamientos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACHAR, Z.: *El riego subterráneo (SDI) el futuro del Riego localizado [en línea]*, Disponible en: <http://www.metzerplas.com/spanish/tamusspa.html> [Consulta: noviembre 15 2001].
- BURTON, M.A., D. KIVUMBI Y EL-ASKARI: "Opportunities and constraints to improving irrigation water management": Foci for research, *Agricultural Water Management*, 40: 37-44, 1999.
- CID, G.: *Introducción de métodos y metodologías para la caracterización de las propiedades hidrofísicas así como, las variaciones espacio temporales*, Informe del Contrato 004-17 IIRD-MTCMA, Ed. IIRD, La Habana, Cuba, 1995.
- DA SILVA, P.: "Etude du la evapotranspiration chez bananier variedad Manizao (Musa cavendish)", *Fruits*, 32(12): 731-737, 1997.
- DE CASTRO, A.: "Consumo hídrico da bananeira no Vale do São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen", Santa Maria, *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 10(1): 45-50, 2002.
- DUEÑAS, R.: Determinación de la evapotranspiración del banano en condiciones de producción en suelo Ferralítico Rojo típico. Evento TERYDAC III. Ciego de Ávila, Cuba, 1999.
- FERREIRA, E. & A. L. BORGES: *Otimização do volume molhado de solo sob microaspersão e extração de água pelo sistema radicular da bananeira*, Relatório ejecutivo de acompanhamento. PPA 3666 – Inovação Tecnológica para a Fruticultura Irrigada no Semi-Árido Nordeste, Brasil, 2003.
- FRANCO, J.A.; J.M. ABRISQUETA; A. HERNANSÁEZ & F. MORENO: "Water balance in a young almond orchard under drip irrigation with water of low quality". *Agricultural Water Management* 43: 75-98, 2000.
- HILLEL, D.: *The field water balance and water use efficiency*, (T. T. Kozlowski, ed.), 100pp. Academic Press, New York, 1972.
- INSTITUTO DE SUELOS, MINAG: *Correlación de la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba, con Clasificaciones Internacionales (SOIL TAXONOMY y FAO-UNESCO) y Clasificaciones Nacionales (2da. Clasificación Genética y Clasificación de Series de Suelos)*, 22pp. Ed. Instituto de Suelos-MINAG, La Habana, 1996b.
- INSTITUTO DE SUELOS, MINAG.: *Nueva versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba*, 102pp., Editorial Academia, La Habana, 1996a.
- LÓPEZ, T; F. GONZÁLEZ, E. ZAMORA y R. REY: Calibración de una sonda de neutrones NUCLEOTRONICS para un suelo Ferralítico Rojo compactado, I^{er} International Symposium on Nuclear Related Techniques (NURT'97): Com. Nac. Energía Atómica-GIATNA. Sección II: Manejo eficiente de Nutrientes y Agua. Oct'97: 47-49, 1997.
- LÓPEZ., M.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*. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas), La Habana, Cuba, 2002.
- MARTÍNEZ, R.: "Distribución del sistema radical del plátano fruta (Musa AAA) clon Cavendish gigante". *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Serie Riego y Drenaje* 7(2): 61-73, 1984.
- MARTÍNEZ, R. y E. ORTEGA: "Distribución vertical del sistema radical y consumo por capas en dos clones de plátano fruta (Musa acuminata)" *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Riego y Drenaje*, 11(2): 33-43, 1988.
- MARTÍNEZ, R.: *Necesidades de agua para el cultivo del banano en los suelos Ferralíticos Rojos de la región de Alquizar*, 102pp., Tesis (en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas), Inst. Inv. Riego y Drenaje. 1996.
- PEAT, D.M.W.; G.P. MATHEWS; P.J. WORSFOLD & S.C. JARVIS: "Simulation of water retention and hydraulic conductivity in soil using a three-dimensional network", *European J. of Soil Sci.* 51(1): 65-80, 2000.
- PERSAUD, N. & R. KHOSLA: "Soil water losses in different plant populations of dry land corn". *Agricultural Water Management*, 42: 157-172, 1999.
- REIDCHARDT, K.: *Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas*, Depto. Física e Meteorologia. Escola Sup. Agricultura "Luiz de Queiroz". Univ São Paulo, Brasil, 1996.
- RODRÍGUEZ, M.R., R. REY., V. TORRALBA y O. SARMIENTO: "Influencia del riego por goteo superficial y subterráneo sobre la distribución radical del banano", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 14(2): 47-52, 2005.
- SHMUELLI, E.: "Irrigation studies in Jordan Valley. I. Physiological activity of the banana in relations to soli moisture", *Bull of the Research Council of Israel*. 3(3): 228-247, 1953.

Recibido: 22 de julio de 2013.

Aprobado: 20 de marzo de 2014.

Manuel Reinaldo Rodríguez García, Inv. Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Carretera de Fontanar, km. 2½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba, Teléf.: (53) 645-1731 y 645-1353, Correo electrónico: dptoriego2@iagric.cu