



Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias

ISSN: 1010-2760

paneque@isch.edu.cu

Universidad Agraria de La Habana Fructuoso

Rodríguez Pérez

Cuba

López, Teresa; Ruiz, María Elena; Cid, G.; González, Felicitá
Caracterización del movimiento del agua en suelos irrigados del sur de La Habana: contribución
metodológica en la determinación de los balances hídricos
Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 12, núm. 2, 2003, pp. 49-53
Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez
La Habana, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93212209>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Caracterización del movimiento del agua en suelos irrigados del sur de La Habana: contribución metodológica en la determinación de los balances hídricos

Characterization of the water flux on the irrigated soils in the south of Havana: methodological contribution in the quantification of water balances

Teresa López¹; María Elena Ruiz²; G. Cid¹ y Felicita González¹

RESUMEN. El objetivo fundamental del presente trabajo es profundizar en el conocimiento de los procesos que limitan la disponibilidad del agua del suelo para las plantas en una zona del sur de La Habana, que permita establecer una base metodológica para la precisión del procedimiento actual en la cuantificación de los balances hídricos en estos sistemas. Se analizan los resultados de experiencias realizadas en la Estación de Riego, sito en Alquizar, al sur de La Habana. Se concluye que la cuantificación precisa de los flujos de agua en la zona radical permite definir las pérdidas por redistribución de la humedad del suelo, dentro de los egresos del balance hídrico. No considerarlas puede conllevar, generalmente, a la sobrestimación y/o subestimación de la evapotranspiración (*Et*) del cultivo. Las diferencias entre ambos balances se reflejaron en los pronósticos de hasta tres riegos innecesarios por el balance tradicional con respecto al de masas. El modelo encontrado para estimar las pérdidas diarias por drenaje interno en suelos ferralíticos, en función de la humedad precedente y los ingresos totales diarios, resulta una herramienta práctica para la cuantificación de los balances hídricos en función del pronóstico del riego de los cultivos agrícolas de la zona de estudio.

Palabras clave: Flujo de agua, suelo, cultivo, evapotranspiración.

ABSTRACT. In this work had been analyzed different experiences carried out at The Experimental Station of the Irrigation and Drainage Research Institute, in the south of Havana, for the accurate quantification of water balances. The results showed that the rate of water flux on the soil profile was dependent of the quantity of applied water and the soil hydrodynamic properties. For the Red Ferralitic soil this flux reached maximum values upper than 600 mm/day and at the first 72 hours get value next to 1 mm/day but this is maintain about 15 days. For the Yellow Gley this process is slower and the flux reached maximum values of 200 mm/day at the first hours. At the other side the results of water balances at different crops showed that the losses for redistribution of water into the soil profile can be the 40 %-60 % of total inputs. To not consider that in the water balances could take as a consequence inaccurate estimations of the crops evapotranspiration.

Key words: Water flux, soil, crop, evapotranspiration

Recibido 01/06/02, trabajo 20/03, investigación.

¹ Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Apdo. Postal 6090, C. Habana, Cuba, E-mail: iird@ceniai.inf.cu

² Universidad Agraria de La Habana, Grupo de Agrofísica, La Habana, Cuba.

INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años se realizan por diferentes instituciones, trabajos relacionados con las necesidades hídricas de los cultivos, destacándose las llevadas a cabo por el Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje en el sur de La Habana, en áreas donde predominan los suelos del agrupamiento ferralítico, ampliamente extendidos en la región occidental del país.

Estos trabajos han permitido estudiar en una primera aproximación la dinámica del agua en estos suelos para diferentes cultivos, lo que ha proporcionado una amplia información sobre las necesidades hídricas de las plantas.

Numerosos trabajos reportados en la literatura abogan por la necesidad de un estudio detallado de los flujos de agua en la zona radical de las plantas, a partir de una caracterización hidrodinámica del perfil del suelo (Hillel, 1990; Moreno *et al.*, 1988; Ahuja y Nielsen, 1990).

Por otra parte, a pesar de que la utilización de modelos matemáticos para la simulación del movimiento del agua en sistemas agrícolas ha resultado una herramienta útil en la actualidad para desarrollar soluciones de diferentes problemas de manejo agrícola y medioambiental, la precisión de sus resultados puede estar afectada también en gran medida por la simplificación en las representaciones de los balances de agua (Clemente *et al.*, 1994; Dourado-Neto *et al.*, 1998).

El objetivo fundamental de este trabajo es profundizar en el conocimiento de los procesos que limitan la disponibilidad del agua del suelo para las plantas en sistemas agrícolas irrigados de una región del sur de La Habana, que permita establecer una base metodológica para la precisión del procedimiento actual en la cuantificación de los balances hídricos en estos sistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo reúne los resultados de diferentes experiencias realizadas en la Estación Experimental del IIRD, en el occidente de Cuba. Los casos de estudio fueron: **I)** Cultivo del frijol sobre suelo Ferralítico Rojo Compactado, bajo riego por aspersión en un diseño de línea central de aspersores, donde se analizan los puntos de mayor (Pto3) y menor (Pto1) ingreso de agua. **II)** Cultivo del papayo sobre el mismo suelo, bajo riego por goteo, donde se analiza el tratamiento de regar a la tensión de 25 kPa a los 40 cm. **III)** Cultivo del boniato en condiciones de lisímetro sobre suelo Gley Amarillento. Los suelos estudiados fueron: Ferralítico Rojo Compactado y Gley amarillento con nivel freático mantenido a los 45 cm de la superficie.

Propiedades hidrodinámicas de los suelos de estudio

Las funciones conductividad hidráulica para el Ferralítico Rojo Compactado fueron determinadas por los métodos del Drenaje Interno (Hillel *et al.*, 1972) y Van-Genuchten *et al.* (1992) respectivamente.

Las curvas de retención fueron determinadas en el laboratorio, a partir de muestras inalteradas y ajustadas al modelo de Van Genuchten.

Perfiles de humedad y potencial del agua del suelo

El registro de las variaciones de la humedad y la tensión en el suelo durante el ciclo del cultivo se realizaron en el Caso I, a partir de sonda de neutrones y tensiómetros cada 20 cm hasta 100 cm de profundidad.

Para los demás Casos (II y III) el registro se llevó a cabo a partir de lecturas de tensiómetros colocados a distintas profundidades del perfil del suelo.

Balances hídricos

Los componentes del balance hídrico, en cada uno de los casos de estudio, se determinaron a partir de la ecuación general de Balance de Masa como la define Hillel (1972), según la presenta Takashi y Tzi Tsiboy (2000), donde la cuantificación del flujo del agua se realizó a partir de la ley de Darcy, cuantificando el gradiente de potencial del agua en el suelo.

Comparación de los balances

La evapotranspiración determinada con el Balance de Masa, considerando el término de redistribución, se compara con la obtenida a partir del método del Balance Hídrico utilizado comúnmente en Cuba, (Delibaltov y Rey, 1982), que considera en los egresos solamente la evapotranspiración del cultivo, despreciando de los ingresos solo las cantidades de agua mayores a las correspondientes al límite máximo del agua disponible para cada profundidad.

Por otra parte se comparan también los coeficientes de cultivo y los pronósticos de riego generados por ambos balances en función de la comparación de las humedades pronosticadas por ambos balances.

Comparación de modelos de simulación de diferentes esquemas de balance de agua

Se evaluaron los modelos MACRO (Jarvis, 1996) y STICS (Brisson *et al.*, 1997) en un ensayo sobre suelo desnudo y se compararon los perfiles de humedad pronosticados por ambos balances con los observados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comparación de la evapotranspiración del cultivo calculada por el balance tradicional y el de masas para cada caso de estudio

El análisis comparativo de la evapotranspiración calculada para cada cultivo, en cada caso de estudio por los dos balances (figuras 1 y 2) demostró que para los casos I y II la *E_{tr}* queda sobrestimada por el balance tradicional en los

períodos de menores ingresos (50 % como media), ya que este asume que el agua se almacena estáticamente en la zona radical del cultivo y está disponible totalmente para el consumo de la planta.

En períodos de mayores ingresos, como en el caso I, Pto 3, la *Etr* estuvo subestimada en un 30 % como promedio, ya que se asume que el proceso de redistribución ocurre instantáneamente y toda el agua que está por encima del límite máximo del agua aprovechable drena hacia capas más profundas sin que esté disponible para el consumo de la planta. En este caso la sobrestimación de la *Etr* total del cultivo fue del 25 %.

Para el caso de estudio III la situación se invierte, ya que como tenemos un proceso de ascensión capilar y la evapotranspiración va a quedar generalmente subestimada por el balance tradicional. No obstante como en este caso el suelo tiene una menor conductividad hidráulica y los valores de flujo son por tanto muy inferiores a los ya analizados, las diferencias entre las *Etr* calculadas por ambos balances no son grandes y solo llegan a tomar valores del 15 % en los períodos de menores ingresos, ya que es precisamente en estos donde el flujo ascendente toma valores considerables. La subestimación de la *Etr* total del cultivo es solo del 5 %.

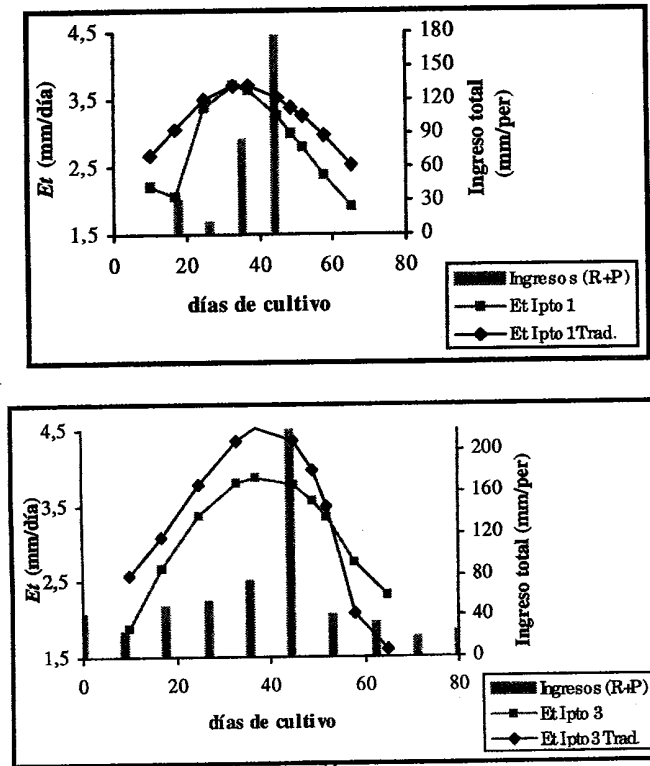


FIGURA 1. Comparación del comportamiento de la evapotranspiración durante el ciclo del cultivo del frijol sobre suelo Ferralítico (Caso I): A)- para el punto 1 de menores ingresos de agua y B)- para el punto 3 de mayores ingresos.

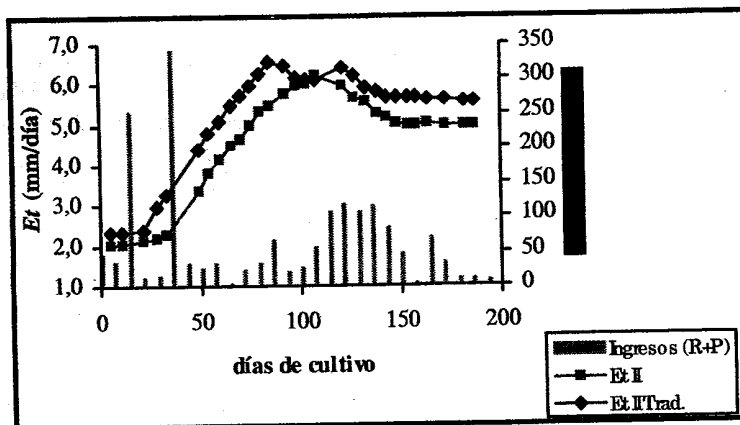


FIGURA 2. Comparación del comportamiento de la evapotranspiración durante el ciclo del cultivo del papayo sobre suelo Ferralítico (Caso II) calculada por ambos balances.

El análisis estadístico para la comparación de los valores de *Et* obtenidos por ambos balances durante el ciclo de los cultivos analizados refleja que se obtuvieron bajos coeficientes de correlación y relativamente grandes valores del error estándar en ambos casos analizados (I y II).

La prueba *T-Student* resultó significativa para los dos casos, lo que implica que los valores de *Et* calculados por ambos balances difieren significativamente (para $p < 0,05$).

Evaluación comparativa de los modelos de simulación de balance de agua en el suelo

El análisis de la eficiencia de simulación de los modelos, en cuanto a la predicción de la humedad del suelo por capas del perfil, reflejó que el rango del error medio en la predicción de la humedad en las diferentes capas del perfil es de 0,6-0,7 % para el modelo MACRO y de 1,4 %-4 % para el modelo STICS, lo que equivale a los 40 cm a láminas de 2,4-2,5 mm y 5,6-16 mm respectivamente. Los valores de las diferencias en las láminas simuladas con STICS resultan considerables si se comparan con la evapotranspiración de los cultivos agrícolas.

Los valores de RMSE y RMS se acercan más a su valor óptimo (0) para el modelo MACRO que para el STICS, donde estos son superiores de 2,5 a 7 veces. Por otra parte los valores de eficiencia de simulación (*EF*) son del 93 al 99 % para el modelo MACRO, mientras que para el STICS este indicador no supera el 65 % con una media de 36 %.

Comparación de los pronósticos de riego generados por ambos balances

Para el Caso I la dosis total de riego se sobrestima en un 44 % por el balance tradicional comparado con el balance de masas, lo que se traduce en una diferencia de tres riegos más para el balance tradicional (88 mm). Por otra parte el análisis de correlación entre las humedades pronosticadas por ambos balances y la observada (Tabla 1) refleja para el Caso I, mayores valores de error para la humedad pronosticada por el balance tradicional y aunque con ambos balances tenemos bajos coeficientes de correlación, la prueba *T-Student* resulta significativa en la comparación de las humedades pronosticadas por el balance tradicional con las observadas, mientras que para el balance de masas los valores no difieren estadísticamente.

TABLA 1. Análisis estadístico de la comparación de los valores de humedad pronosticados por ambos balances con los observados durante el ciclo de los cultivos para los tres casos de estudio

Comparación	Error relativo	Error estd.	Desv. abs.	Desv. media	Coef. Correl	Prueba T-Student
Caso I						
<i>Bm vs hum obs</i>	-2,714	0,036	0,030	-0,010	0,147	0,056
<i>Btr vs hum obs</i>	-3,403	0,041	0,038	-0,060	0,265	0,021
Caso II						
<i>Bm vs hum obs</i>	0,450	0,010	0,007	0,002	0,939	0,605
<i>Btr vs hum obs</i>	-3,190	0,034	0,028	-0,016	0,247	4,646*10 ⁻⁷

Nota: *Bm-humedad* a 40 cm pronosticada por el balance de masas; *hum obs.* - humedad a 40 cm observada.

Predicción de las pérdidas por drenaje interno durante el ciclo de los cultivos para los suelos más característicos de la zona de estudio

En la Tabla 2 se dan los resultados del análisis de regresión y de varianza del modelo encontrado. Como se puede apreciar se obtuvo un alto valor del coeficiente de determinación (0,966) y un error estándar de estimación relativamente bajo y todos los coeficientes de regresión resultaron altamente significativos, demostrando que las variables independientes describen adecuadamente el proceso. La calidad del modelo encontrado se reafirma en el análisis de varianza que resultó altamente significativo.

Esta relación es válida para estimar las pérdidas diarias por redistribución o drenaje a la profundidad de 40 cm, DI_{40} , en un

suelo Ferralítico Rojo Compactado, en función de la humedad volumétrica registrada a esta profundidad ($\theta_{pre_{40}}$) y los ingresos totales por lluvia y riego ($P+R$) producidos en el día precedente. La misma solo es válida en el rango de humedades trabajado, de 0,376 a 0,457 cm^3/cm^3 , y en el intervalo de ingresos de agua diarios simulados, de 0 a 260 mm/día.

No obstante, a pesar de estas limitaciones resulta una herramienta práctica e importante para la cuantificación de los balances hídricos en función del pronóstico del riego de los cultivos agrícolas de la zona de estudio, ya que en la misma más del 70 % de los suelos son del tipo Ferralítico Rojo y el rango de humedades e ingresos analizados cubre toda la gama de manejos de agua que se realizan en la zona de estudio, desde el secano hasta el riego de alta frecuencia.

TABLA 2. Resultados del análisis de regresión múltiple para la variable drenaje interno a los 40cm, D40, en un suelo Ferralítico Rojo Compactado, en función de la humedad precedente, $\theta_{pre_{40}}$, y los ingresos totales, P+R

Variable	Coef.	Error estd.	Nivel de signif.	Coef. R ²	Error std. estimac.	Prueba T-Student
$\theta_{pre_{40}}$	-128,7380	53,1529	0,0173	0,9652	10,5946	2,178
P+R	0,8700	0,0186	0,0000			
$(\theta_{pre_{40}})^2$	298,5533	0,1789	0,0000			
Análisis de varianza de la regresión						
Fuente	SC	GL	SC Media	Valor F	Nivel signif.	
Modelo	308784,0	3	102928,0	916,990	0,0000	
Error	10887,8	97	112,246			

CONCLUSIONES

- Las particularidades del comportamiento hídrico de los suelos definen diferentes disponibilidades del agua para las plantas en función del criterio que se tome para definir el límite superior del agua disponible en el suelo.
- No tener en cuenta las pérdidas por redistribución o drenaje dentro de los egresos del balance hídrico puede conllevar, generalmente, a la sobrestimación y/o subestimación de la evapotranspiración 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. La sobrestimación de la *Et* alcanza valores que están entre 15 % y 55 % para manejos de agua que van desde el secano hasta el riego de alta frecuencia.
- La utilización del balance tradicional para el pronóstico del riego incrementa los valores de error en la predicción de la humedad del suelo entre 1,1 y 14 veces con respecto al Balance de Masas, para el cuál los valores de humedad pronosticados no difirieron significativamente de los observados en todos los casos.
- El modelo encontrado para estimar las pérdidas diarias por redistribución o drenaje en suelos Ferralíticos Rojos Compactados resulta una herramienta práctica para la cuantificación de los balances hídricos en función del pronóstico del riego de los cultivos agrícolas de la zona de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHUJA, L.R. y NIELSEN, D.R.: *Field Soil Water Relations*, In "Irrigation of Agricultural Crop", *Agronomy* no. 30: 143-190, Ed. B.A. Stewart and D.R. Nielsen, 1990.

BRISSON NADINE, BRUNO MARY Y COLABORADORES: *Notice utilisateur. Modele STICS*. INRA. AGPM-Agrotransferts-CETIOM-CIRAD-ITCF, 1997.

CLEMENTE R.S.; R. DE JONG; H.N. HAYHOE y M. HARES: "Testing and comparison of Three Unsaturated Soil Water Flow Models", *Agricultural Water Management* 25: 135-152, 1994.

DELIBALTOV, Y. y R. REY.: *Metodología para la determinación de la evapotranspiración real a partir de datos de humedad del suelo*, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, Informe Técnico, 1982.

DOURADO-NETO D. *et al.*: "Principles of Crop Modelling and Simulation: I. Uses of Mathematical Models in Agricultural Science", *Sci. Agric. Piracicaba*. 55 (Número Especial): 46-50, 1998.

HILLEL, D.R.: *The Field Water Balance and Water use Efficiency*, pp. 79-100, Ed. T.T. Kozlowski, 1972.

HILLEL, D.; U.D. KRENTOS y Y. STYLIANOV: "Procedure and Test of an Internal Drainage Method for Measurement Soil Hydraulic Characteristic *in situ*", *Soil Sci.* 114: 395-400, 1972.

HILLEL, D.: Role of Irrigation in Agricultural Systems. In: "Irrigation of Agricultural Crop", *Agronomy* no. 30: 6-29, Ed. B.A. Stewart y D.R. Nielsen, 1990.

JARVIS, N.: "The MACRO Model (Version 3.2)- Technical Description and Sample Simulation", 51pp., *Monograph 19*. Depart. Soil Sci., Swedish Univ. Agric. Sci., Uppsala, 1996.

MORENO, F.; *et al.*: "Balance hídrico en un olivar con riego gota a gota", *Agronomie*, Resultados de 4 años de experiencia, 8(6),521-537, 1988.

TAKASHI M. y E. A. TZI TZIBOY: *Mejoramiento del uso del agua en la agricultura: el papel de las técnicas nucleares*, CENA, Univ. São Paulo, Piracicaba. Brasil, 2000.

VAN GENUCHTEN, M., F. LEIJ and S. YATES: *The RETC Code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils*, US Sal. Lab., California, 1991.