



Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias
Universidad Agraria de La Habana
paneque@isch.edu.cu
ISSN (Versión impresa): 1010-2760
CUBA

2006

Teresa López S. / Felicita González R. / Graciela Dueñas / G. Cid L. / J. Sierra / H.
Ozier Lafontaine

MODELACIÓN DEL MANEJO ÓPTIMO DEL AGUA EN SUELOS FERRALÍTICOS
DEL SUR DE LA HABANA

Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, año/vol. 15, número 004

Universidad Agraria de La Habana

La Habana, Cuba

pp. 37-41

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

Universidad Autónoma del Estado de México

<http://redalyc.uaemex.mx>





SUELO Y AGUA
SOIL AND WATER

Modelación del manejo óptimo del agua en suelos Ferralíticos del sur de La Habana

Modelation of the optimum water management on Ferralitics soils in the south of Havana province

**Teresa López S.¹, Felicita González R.², Graciela Dueñas³, G. Cid L.¹ y J. Sierra⁴
y H. Ozier-Lafontaine⁴**

RESUMEN. Teniendo como base los resultados alcanzados en la validación y ajuste del modelo STICS en estudios anteriores y con el objetivo de profundizar con ayuda de la simulación matemática, en el conocimiento de los mecanismos y particularidades del flujo del agua dentro del continuo suelo-planta-atmósfera se definieron los parámetros de los ficheros de suelo, clima y planta en los cultivos de maíz y frijol sobre suelo Ferralítico Rojo en la zona del sur de La Habana. Los valores obtenidos en la simulación se utilizaron para realizar un análisis de correlación y regresión no lineal entre las distintas variables y las cantidades de agua aplicada simuladas. Los resultados de la simulación permitieron definir los consumos óptimos, desde el punto de vista de la máxima eficiencia en el uso del agua consumida por el cultivo, así como la distribución óptima de los mismos por fases de desarrollo de los cultivos de maíz y frijol.

Palabras clave: modelos de simulación matemáticos, eficiencia, maíz, frijol.

ABSTRACT. Having as base the results reached in the validation and adjustment of the model STICS in previous studies and with the objective of widening with the mathematical simulation helping, in the knowledge of the mechanisms and particularities of the water flow inside the continuous soil-plant-atmosphere relationship; were defined the parameters of soil, climate and plants files in corn and bean cultivations, on Red Ferralitic soil in the south of Havana. The obtained values in the simulation, were used to carry out a correlation analysis and non lineal regression between the different variables and the quantities of simulated applied water. The results of the simulation allowed to define the optimum consumptions, from the point of view of the maximum efficiency in the use of the water consumed by the crop as well as the optimum distribution of the same ones by development phases of corn and bean crops.

Key words: mathematical simulation models, efficiency, corn, bean.

INTRODUCCIÓN

Los suelos ferralíticos ocupan más del 70 % de la superficie agrícola de la sabana Habana-Matanzas y en ellos se cultiva gran parte de la producción de viandas y hortalizas que abastecen el consumo de la población de esta región. Esta producción depende fuertemente del riego en un contexto donde los recursos hídricos son limitados o en vía de degradación.

Numerosos estudios realizados por el IIRD permiten en la actualidad estimar, con relativa precisión, las necesidades de agua de las principales especies cultivadas en la región, no obstante, la información resulta todavía insuficiente en cuanto al ajuste preciso de las dosis de agua para lograr prácticas con rendimientos óptimos.

La continuación de estos estudios requiere de la utilización de modelos de simulación, partiendo de la información ya almacenada y la determinación de los parámetros

Recibido 15/02/06, trabajo 90/06, investigación.

¹ Dr., Inv., Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), Ciudad de La Habana, Cuba. E-[✉:teresa@iird.cu](mailto:teresa@iird.cu)

² M.Sc., Inv., IIRD, Ciudad de La Habana, Cuba.

³ Inv., Instituto de Suelos, La Habana, Cuba.

⁴ Inra-APC. Guadeloupe. Francia.

necesarios para completar dicha información. Esto permite reducir en gran medida el tiempo y los recursos dedicados a la investigación por la vía tradicional de experimentos de campo y analizar el problema de una manera más integral y precisa.

Los resultados obtenidos en proyectos recientemente concluidos (LÓPEZ *et al.*, 2000) permiten contar con el ajuste de algunos modelos, tales como el MACRO (JARVIS, 1996) y STICS (BRISSON *et al.*, 1997) para las condiciones edafoclimáticas de la región de Alquizar en el sur de La Habana (RODRÍGUEZ y LÓPEZ, 2000; LÓPEZ *et al.*, 2002). Sobre esta base se plantea este trabajo, con el objetivo de utilizar el modelo de simulación **STICS** para la definición de estrategias óptimas de manejo del agua en cultivos típicos de la región del sur de La Habana como es el frijol y el maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

La preparación de los ficheros de entrada para el trabajo con el modelo **STICS** tuvo como base los resultados de los estudios anteriores de validación y ajuste del modelo para los cultivos de maíz y frijol sobre suelo Ferralítico Rojo, característico de la zona del sur de La Habana (LÓPEZ *et al.*, 2002).

Para simular un amplio rango de manejos de riego se definieron entregas de agua de 15 mm cada dos días, 25 mm semanales, 50 mm cada 15 días y no riego, lo cual cubre desde el riego de alta frecuencia hasta el secano. No se analizó una condición de anegamiento ya que en estos suelos de alta permeabilidad no es una condición real en la práctica productiva.

Métodos utilizados para el trabajo de simulación

Como resultado del trabajo de simulación se tuvieron 36 ficheros de salida de las corridas del modelo **STICS** para cada cultivo (maíz y frijol).

En cada fichero de salida se obtuvieron las siguientes variables para cada día del ciclo del cultivo:

- índice de área foliar: LAI (m^2/m^2);
- materia seca aérea: masec (t/ha);
- materia seca del grano: masecgrain (t/ha);
- contenido de agua en cada capa del perfil del suelo: HR1- 20cm, HR2- 40cm, HR3- 60cm y HR4- 80 cm (% peso suelo seco);
- lámina de agua almacenada a la profundidad de 40cm: resmes (mm);

- flujo de agua drenada por debajo de la zona radical: drain (mm);
- evaporación real desde la superficie del suelo: es (mm);
- evapotranspiración: et (mm);
- profundidad radical efectiva: zrac (cm).

El procesamiento de toda esta información de salida se comenzó con el cálculo de los valores medios, máximos, medios por fases del cultivo y totales de cada una de las variables en cada rango de agua aplicados, así como para cada año climático utilizado.

Posteriormente se utilizaron estos valores obtenidos para realizar un análisis de correlación y regresión no lineal entre las distintas variables y las cantidades de agua aplicada simuladas. Para ello se utilizó el paquete informático STATISTICA.

Por razones de espacio en este artículo solo trataremos algunas de las funciones (f) trabajadas con los valores totales de las variables, las que pueden resumirse en las siguientes:

$$\text{masecgrain}(\text{rend}) = f(\text{et})$$

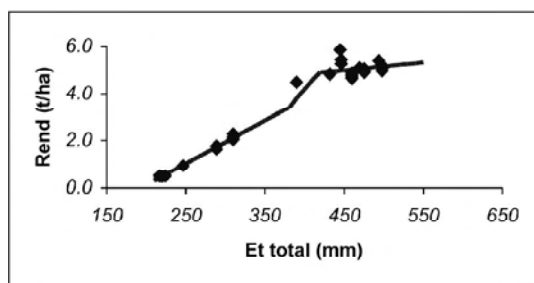
$$\text{Rend}/\text{et} = f(\text{et})$$

$\text{Rend} = f(\%et1, \%et2)$, donde $\%et1$ y $\%et2$, por ciento que representa la evapotranspiración del cultivo en las fases de establecimiento (1) y floración-fructificación (2) respectivamente de la et total.

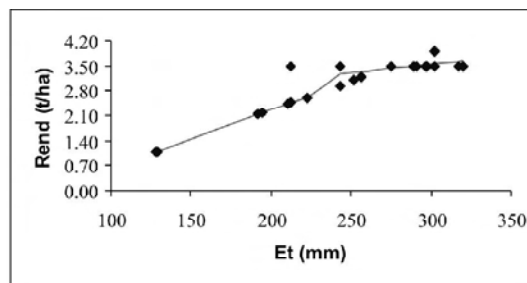
Para cada regresión efectuada se dan los parámetros de la función, el coeficiente de correlación y el por ciento de la variabilidad total explicada por el modelo. Para hallar los valores óptimos de las funciones analizadas se trabajó con las primeras derivadas de las mismas igualadas a 0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 1 se reflejan las funciones de producción obtenidas para cada cultivo (maíz y frijol, respectivamente). Como puede observarse ambas funciones tienen en general el mismo comportamiento, un crecimiento lineal del rendimiento con el aumento del consumo del agua por la planta, y a partir de un valor determinado de la evapotranspiración (et) este aumento del rendimiento tiende a estabilizarse. Para el maíz este valor de la et está alrededor de los 400 mm, mientras para el frijol es de 240 mm aproximadamente.



Maíz



Frijol

FIGURA 1. Función agua consumida-rendimiento para los cultivos en las condiciones de estudio.

Para encontrar el consumo óptimo de cada cultivo se analizó el incremento de la eficiencia en la utilización del agua consumida ($Rend/et$ total) con respecto al incremento del consumo de agua. Para ambos cultivos, a partir de un determinado consumo, el aumento del mismo conlleva a un decrecimiento en la eficiencia de utilización de esa agua por el cultivo, o sea que decrece la relación kg/ha producidos por mm de agua consumido.

Para encontrar el punto óptimo se derivaron ambas funciones cuadráticas y se obtuvo para el maíz un consumo óptimo de 480 mm, mientras para el frijol es de 254 mm. Estos valores de evapotranspiración total permiten definir

las normas de riego óptimas para cada uno de estos cultivos en las condiciones de estudio y las funciones definidas permiten predecir el comportamiento del rendimiento para diferentes cantidades de agua consumida por el cultivo para estas condiciones.

En las tablas 1 y 2 se dan los parámetros y estadígrafos correspondientes a las regresiones efectuadas con la variable rendimiento para cada cultivo. Como puede apreciarse en todos los casos se obtienen modelos con altos coeficientes de correlación y altos por cientos de la variabilidad total explicada por los mismos.

TABLA 1. Parámetros y estadígrafos de la regresión efectuada entre el Rendimiento del cultivo ($Rend$) y el agua total consumida (et) para los cultivos de maíz y frijol

Cultivo	Modelo	Parám.	Valor	R	% Var. Expl.
Maíz	$Rend = a + b*et$ para $et < Pr$ $Rend = c + d*et$ para $et > Pr$	a	-3,5530	0,984	96,80
		b	0,0183		
		Pr	410		
		c	3,4640		
		d	0,0034		
Frijol	$Rend = a + b*et$ para $et < Pr$ $Rend = c + d*et$ para $et > Pr$	a	-0,9809	0,983	96,74
		b	0,0162		
		Pr	239		
		c	2,0857		
		d	0,0042		

TABLA 2. Parámetros y estadígrafos de la regresión efectuada entre la eficiencia del uso del agua consumida ($Rend/et$) y la et para los cultivos de maíz y frijol

Cultivo	Modelo	Parám.	Valor	R	% var. expl.
Maíz	$R/et = a + b*et + c*et^2$ $et \text{ máx} = 480 \text{ mm}$ $R = 5,22 \text{ t/ha}$	a	-3,0699	0,950	90,18
		b	0,0197		
		c	-0,000023		
Frijol	$R/et = a + b*et + c*et^2$ $et \text{ máx} = 254 \text{ mm}$ $R = 3,04 \text{ t/ha}$	a	-2,9926	0,979	98,06
		b	0,1199		
		c	-0,00024		

No obstante, no solo es importante definir la cantidad de agua que necesita cada cultivo de estudio para obtener rendimientos máximos, sino también es necesario conocer como debe distribuirse esta agua entre las diferentes fases del desarrollo del cultivo para lograr un manejo del riego óptimo.

En la Figura 2 se muestran las relaciones observadas entre el rendimiento y los por cientos que representan de la et total la evapotranspiración en la fase de establecimiento del cultivo, $et1$ (entre los 0 - 25 días para el maíz y el frijol) y en la fase de floración-fructificación, $et2$ (entre los 26 - 100 días para el maíz y entre los 26 - 70 días para el frijol).

Las derivadas parciales de la función encontrada para esta relación (Tabla 3) permitieron definir la distribución óptima del consumo del agua durante el ciclo del cultivo.

Para el cultivo del maíz el máximo de rendimiento se obtiene cuando se consume en la fase de establecimiento un 15 % de la et total definida como óptima (480 mm), mientras que en la fase de floración-fructificación se debe consumir el 54 % de la et total. El resto (21 %) se consume en la fase de maduración-cosecha.

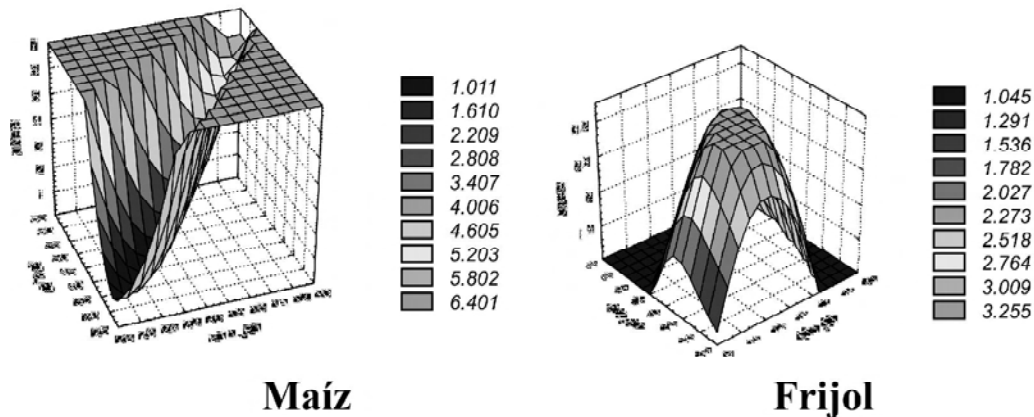


FIGURA 2. Relación entre el rendimiento (Rend, en t/ha) y los por cientos de la *et* total óptima consumida en la fase 1 de establecimiento del cultivo (*et1* - *et*, en %) y en la fase 2 de floración-fructificación (*et2*- *et*, en %) para los cultivos maíz y frijol.

TABLA 3. Parámetros y estadígrafos correspondientes a las regresiones efectuadas entre el rendimiento (Rend) y los por cientos de la *et* total óptima consumida en la fase 1 de establecimiento del cultivo (*et1*/*et* * 100) y en la fase 2 de floración-fructificación (*et2*/*et* * 100) para cada cultivo en las condiciones de estudio

Cultivo	Modelo	Parám.	Valor	R	% var. expl.
Maíz	$\text{Rend} = a + b \cdot (\text{et1}/\text{et}) \cdot 100 + c \cdot (\text{et2}/\text{et}) \cdot 100$ $\text{et} < \text{Pr}$ $\text{Rend} = d + e \cdot (\text{et1}/\text{et}) \cdot 100 + f \cdot (\text{et2}/\text{et}) \cdot 100$ $\text{et} > \text{Pr}$ $\% \text{et1opt.} = 25 \%; \quad \% \text{et2opt.} = 54 \%$	a	0,7797	0,990	98,02
		b	-0,0715		
		c	0,0547		
		Pr	3,9843		
		d	3,4005		
		e	-0,1071		
		f	0,0597		
Frijol	$\text{Rend} = a + b \cdot (\text{et1}/\text{et}) \cdot 100 + c \cdot (\text{et1}/\text{et})^2 \cdot 100$ $+ d \cdot (\text{et2}/\text{et}) \cdot 100 + e \cdot (\text{et2}/\text{et})^2 \cdot 100$ $\% \text{et1opt.} = 15 \%; \quad \% \text{et2opt.} = 46 \%$	a	-25,644	0,922	85,04
		b	0,6071		
		c	-0,0196		
		d	1,3627		
		e	-0,0189		

Esto se traduce en **normas de riego** de 2,9 mm diarios ó 20,2 mm semanales en los primeros 25 días del cultivo; de 3,5 mm diarios o 24,2 mm semanales entre los 25 y los 100 días y en la última etapa una norma de 2,5 mm diarios o 17,4 mm semanales hasta los 120 días del cultivo donde se suspende el riego.

Por su parte para el frijol la distribución óptima es de 15 % de la *et* máxima (254 mm) en la fase de establecimiento y el 46 % en la fase de floración-fructificación. El resto (39 %) se consume en la fase de maduración-cosecha.

Igualmente esto se traduce en **normas de riego** de 1,5 mm diarios o 10,7 mm semanales en los primeros 25 días del cultivo; de 2,6 mm diarios o 18,2 mm semanales entre los 25 y los 70 días y en la última etapa una norma de 2,2 mm diarios o 15,4 mm semanales hasta los 105 días del cultivo donde se suspende el riego

Como puede observarse el período de floración-fructificación es decisivo en la obtención de rendimientos máximos, lo cual coincide con lo planteado en estudios

anteriores para estos cultivos bajo similares condiciones de suelo y clima (GIRALT, 1989).

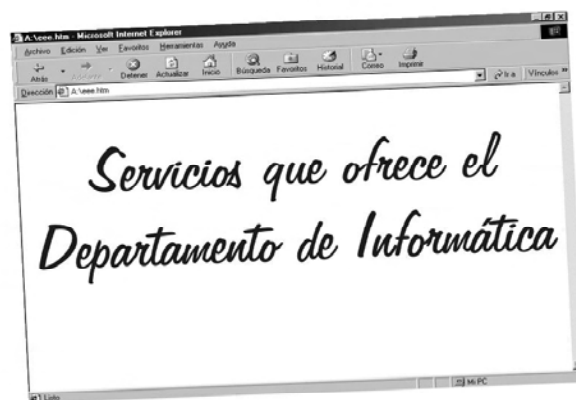
CONCLUSIONES

- Los resultados de este trabajo evidencian las posibilidades de la utilización del modelo de simulación de cultivo STICS para la definición de manejos óptimos del agua en los cultivos de granos sobre suelos ferralíticos.
- La definición obtenida en este trabajo en cuanto a los de consumos óptimos de agua para el maíz y el frijol sobre suelo Ferralítico permiten definir láminas de riego totales y parciales para estos cultivos que permitan alcanzar rendimientos máximos con una eficiencia óptima del uso de los recursos agua y energía.
- Por último puede decirse que este trabajo explica también un procedimiento válido para definir estrategias de riego óptimas en otros cultivos de granos y sobre otros tipos de suelos, partiendo de análisis previos que definan las características de cada sistema agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRISSON NADINE y BRUNO MARY: *Notice utilisateur. Modele STICS*, INRA, AGPM-Agrotransferts-CETIOM-CIRAD-ITCF, 1997.
2. CHATERLÁN, YOIMA: «Estimación y modelación de la evapotranspiración de referencia en Cuba», Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias en la especialidad de Riego y Drenaje, 54 pp., 1997.
3. GIRALT, E: «Determinación de los parámetros fundamentales del régimen de riego de diferentes variedades de frijol y maíz sembrados en la región occidental del país en suelo Ferralítico», Informe Técnico IIRD, MINAG, Ciudad de La Habana, dic., 1989.
4. JARVIS, N: «The MACRO Model (Version 3.2)- Technical Description and Sample Simulation», *Monograph* 19, 51 pp., Depart. Soil Sci., Swedish Univ. Agric. Sci., Uppsala, 1996.
5. LÓPEZ TERESA, FELICITA GONZÁLEZ Y G. CID: «Factibilidad del uso de modelos de simulación de crecimiento en la definición de estrategias para el riego deficitario en los cultivos de maíz y frijol en suelo Ferralítico del sur de La Habana», Informe final del Proyecto 06-02 del P.R. Riego y Drenaje, MINAG, 2000.
6. LÓPEZ, TERESA *et al.*: «Simulación del manejo del riego y la fertilización nitrogenada del maíz sobre suelo Ferralítico del sur de La Habana», *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 10 (3): 59-66, 2001.
7. LÓPEZ TERESA *et al.*: «Estudio comparativo de dos modelos de simulación de transferencias hídricas en un Ferralsol del sur de La Habana», *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 11(1) pp. 83-90, 2002.
8. LÓPEZ, TERESA: «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 Dr. INCA/ IIRD, 110 pp., 2002.
9. RODRÍGUEZ, J.A. y TERESA LÓPEZ: «Validación y análisis de sensibilidad del Modelo MACRO en un suelo Orthic Ferrasol del Sur de La Habana. Investigación Agraria», *Producción y Protección Vegetales*, vol. 15 (1-2): 47-55, España, 2000.

Universidad Agraria de La Habana



Diseño y montaje de Proyectos de Redes

Diseño y montaje de Proyectos de Informática Educativa

Cursos

Diseño de Páginas WEB
 Programación bajo ambiente WEB
 Programación bajo ambiente Windows
 Sistema de información geográfica
 Diseño de multimedias
 Teleclases

Para mayor información: E-mail: oscar@isch.edu.cu