

# CARACTERIZACIÓN DE LA INFILTRACIÓN ACUMULADA Y DE LA TASA DE INFILTRACIÓN ANTE DIFERENTE LABOREO DE SUELO

H. DÍAS<sup>1</sup>; E. SOZA<sup>1</sup>; L. GÉNOVA<sup>1</sup> y ANA LANDINI<sup>1</sup>

Recibido: 19/06/03

Aceptado: 01/11/04

## RESUMEN

La agricultura argentina experimenta cambios con la incorporación de nuevas tecnologías, extendidas a los sistemas de labranzas y el riego, con el fin de maximizar la producción. La caracterización de la infiltración es sumamente importante en la implementación del riego y esencial para el mantenimiento de la humedad del suelo. Suponiendo una dependencia de la infiltración acumulada y la tasa de infiltración del tipo de laboreo, el trabajo tuvo como objetivo evaluar ambas, en suelo sin disturbar y sometido a cuatro tratamientos distintos: suelo natural y tres con diferente manejo (arado de reja combinado con rastra y cincel). Para cada tratamiento se midió a campo la infiltración acumulada con el método del doble anillo, siguiendo el procedimiento propuesto por Haise *et al.*, hasta obtener velocidad constante. Los valores de infiltración acumulada en función del tiempo se ajustaron por regresión a la ecuación de Kostiakov-Lewis, obteniéndose sus parámetros. La función temporal de la tasa de infiltración se obtuvo derivando respecto del tiempo la ecuación antes mencionada. Los resultados experimentales dan cuenta de una mayor tasa inicial de infiltración a mayor disturbación del suelo por efecto del laboreo, obteniéndose la máxima infiltración acumulada con labranza convencional. Los valores de densidad aparente disminuyeron significativamente a partir del valor máximo medido, que correspondió a suelo natural. Se concluye sobre la importancia de la caracterización de la infiltración en forma empírica cuando se diseña un sistema de riego.

**Palabras clave.** Infiltración acumulada; infiltración instantánea; laboreo de suelo; densidad aparente del suelo.

## CHARACTERIZATION OF THE CUMULATIVE INFILTRATION AND INFILTRATION RATE FRONT DIFFERENT TILLAGE SYSTEM

## SUMMARY

The Argentine agriculture experiment changes with the incorporation of new technologies about tillage systems and irrigation to maximize the production. The characterization of infiltration is really important to the implementation of irrigation and it is essential to keep the humidity of the soil. Supposing a dependence of cumulative infiltration and infiltration rate on tillage systems kinds. This work had got as objective evaluate both, with four different treatments: natural soil and three different tillage systems (moldboard plow with disc harrows and chisel). For each treatment was measure the cumulative infiltration with the double ring methodology in field, following the procedure propose by Haise *et al.*, until get constant speed. The values of cumulative infiltration in function of the time, was adjusted by regression of Kostiakov-Lewis' equation, and get its parameters. The temporary function of infiltration rate was got deriving this equation. The experimental results give a bigger infiltration rate top a bigger ground disturbs. For tillage effect, getting the maximum cumulative infiltration on conventional tillage treatment. The bulk density's values decreased significantly up to the maximum value test on natural ground. The conclusion is about the characterization importance of infiltration in an empirical way when you design an irrigation system.

**Key words.** Cumulative infiltration; Infiltration rate; Tillage; Soil apparent density.

---

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra. FAUBA. diashugo@agro.uba.ar

### INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Las fases del ciclo hidrológico de interés en la agricultura son la precipitación, la infiltración, la evapotranspiración real y la escorrentía, siendo la infiltración el ingreso del agua hacia el interior del suelo (Schwab *et al.*, 1990). La infiltración ocurre gradualmente desde la superficie y tiene dirección vertical descendente. En situaciones en que la velocidad del aporte de agua supera la tasa de infiltración, el exceso determinaría la cantidad de agua de escurrimiento superficial y con ello el peligro de erosión hídrica, hecho que puede afectar a todo el sistema de economía de agua de la zona de raíces (Gurovich, 1999).

La infiltración es una fuente importante de aporte de humedad al suelo para mantener el crecimiento de la vegetación. Cualquier obstáculo que impida el flujo del agua a través del perfil afecta la infiltración (Schwab, *op. cit.*), por lo tanto su determinación constituye una de las tareas más importantes a desarrollar en la práctica de sistematización de tierras a regar (Chambouleyron, 1993).

La agricultura argentina experimentó en los últimos años una transformación caracterizada por la incorporación de nuevas tecnologías en pro de una mayor producción, acompañada de una intensificación del uso de la tierra (Casas, 1997); estos factores conllevan a cambios en los sistemas productivos, entre ellos los sistemas de labranza. Las variaciones del estado físico, químico y biológico que ocurren en el suelo durante un período agrícola, estarían determinadas por la interacción entre sistemas de labranzas, condiciones climáticas y características del suelo (Aragón *et al.*, 1997).

Con respecto al efecto de las labranzas sobre la infiltración del agua en el suelo, se observa un espectro de resultados, en algunos casos favorable a los sistemas de preparación tradicionales (arado de reja y vertedera), desfavorable en otros, e indiferente en muchos de ellos (Cannell y Hawes, 1994).

Un aspecto concomitante es la cobertura vegetal, viva o muerta, que según Freebairn y Gupta (1990), tiene una gran incidencia en las tasas de infiltración, ya que la cobertura impediría la formación de costras, como sucede en los suelos sin cubierta. García Préchac *et al.*, (2001) trabajando con cuatro sistemas de labranzas y en suelo natural de pradera, informan que los tratamientos con laboreo retenían menos agua en todo el rango de perfil ensayado (hasta 20 cm). Pero Cassel y Waggar

(1996) señalan una mayor infiltración acumulada en suelo preparado con arado de cincel y arado de disco en comparación con el no laboreo. De lo antedicho se desprende la expresión de Aragón *et al.*, (*op. cit.*) en cuanto a que para diferentes sistemas de labranzas, la respuesta temporal del proceso de infiltración del agua, es variable, de etiología compleja y pronóstico teórico incierto, por lo que es importante su determinación empírica a campo.

La eficiencia de aplicación potencial de un método de riego puede obtenerse, en gran medida, midiendo la infiltración a campo. Una forma de evaluarla es la realización de ensayos de infiltración utilizando la técnica del doble anillo (Young, 1991). En referencia al riego por amelgas, se aconseja hacer mediciones de infiltración acumulada usando el método de cilindros infiltrómetros, en por lo menos tres lugares del área representativa, la cabecera, medio y pie de amelga (Chambouleyron, *et al.*, 1979).

Por lo tanto, el objetivo del trabajo fue evaluar la influencia de los distintos manejos del suelo en el proceso de infiltración, sobre la hipótesis de que este fenómeno depende fuertemente de los labores previos.

### MATERIALES Y MÉTODOS

En el predio de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (34° 25' L.S. y 59° 15' L.O.), se delimitaron cuatro parcelas de 4 m por 20 m (amelgas para riego), sobre un suelo de textura franco-arcilloso hasta los 28 cm y apoyado sobre un perfil areno-franco, con un tapiz natural de 10 años sin laboreo. A cada parcela se le aplicó un único tratamiento de los que se detallan a continuación y a los que se codificó con números y letras mayúsculas de imprenta para su inmediata identificación:

- terreno en estado natural (TN)
- arado de reja + 2 pasadas de rastra de casquetes (A+2D)
- arado de reja + 3 pasadas de rastra de casquetes (A+3D)
- arado de reja + 3 pasadas de rastra de casquetes + cincel (A+3D+C).

La compactación inicial del suelo, así como el efecto producido por el laboreo de las distintas máquinas, se caracterizó mediante la determinación de la densidad apa-

rente. Para ello, se extrajeron muestras de suelo en cilindros de volumen conocido que fueron secadas en horno a 105 °C hasta masa constante, efectuando seis repeticiones por tratamiento. Sobre las mismas muestras, de la relación entre el peso húmedo y peso seco se determinó la humedad gravimétrica.

Siendo las condiciones iniciales de cobertura, humedad y densidad aparente del suelo al momento de las determinaciones, las siguientes:

Tratamiento	Cobertura (%)	Humedad (%)	$\delta$ ap. (gr cm <sup>3</sup> )
TN	79	25,05	1,22
A+2D	49	22,22	0,85
A+3D	37	26,07	0,81
A+3D+C	26	19,38	0,79

Luego de transcurridos doce días de finalizadas las labores mecánicas, para cada uno de los tratamientos, se realizaron a campo tres determinaciones de infiltración: cabecera, medio y pie de amelga. Se empleó el par de anillos concéntricos de Muntz, siguiendo el instructivo de Haise *et al.*, (1956), hasta constancia de velocidad de ingreso de agua al perfil.

Para la obtención de la función de ajuste de los datos experimentales, entre los valores de láminas infiltradas y tiempos de aplicación acumulados, se procedió según el modelo matemático de Kostiakov-Lewis citado por Walker (1989) en el Cuaderno FAO N° 45 y la extensión propuesta de Gharbi (1984) aceptada por el «SCS of the US Department of Agriculture», para completar los parámetros de la función (1):

$$Iac_{(t)} = K \cdot t^n + f_o \cdot t \tag{1}$$

donde  $Iac_{(t)} = K \cdot t^n + f_o \cdot t \tag{1}$

- t: tiempo de infiltración (min)
- n: exponente de la función potencial
- K: parámetro de la función potencial (mm · min<sup>-1</sup>)
- f<sub>o</sub>: parámetro de la función lineal denominada tasa de infiltración básica (mm · min<sup>-1</sup>)

Realizando el gráfico doble logarítmico de los valores experimentales de Iac y el tiempo y ajustando linealmente, la ordenada al origen representa k<sub>o</sub> y la pendiente el exponente n.

El valor de f<sub>o</sub> se calculó a partir de las velocidades de infiltración instantáneas, cuando tienden a la constancia respecto al tiempo, considerándose este momento al concurrente cuando la tangente a la función de la tasa de infiltración forma con la horizontal un ángulo de 179° 25' (n = -0.01) (Luque y Paoloni, 1974).

La tasa de infiltración li<sub>(t)</sub> se calculó posteriormente derivando temporalmente Iac, o sea:

$$li_{(t)} = \frac{d}{dt} (Iac_{(t)})$$

entonces, es:

$$li_{(t)} = K \cdot n \cdot t^{n-1} + f_o \tag{2}$$

donde li<sub>(t)</sub> se expresa en mm · min<sup>-1</sup> y representa la rapidez instantánea con que el agua ingresa al perfil.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestran los gráficos que surgieron de los valores experimentales de las láminas acumuladas en función del tiempo para cada uno de los laboreos y la curva correspondiente a la Iac obtenidas con las funciones de ajuste y estas se seleccionaron a partir de la mejor aproximación y por la naturaleza de la curva.

En el Cuadro N° 1 se exhiben las ecuaciones ajustadas a los valores experimentales de infiltración acumulada que incluye el segundo término a la infiltración básica. Este último término deducido a partir de las velocidades de infiltración instantáneas, cuando estas tienden a la constancia respecto al tiempo. Este cuadro incorpora igualmente los valores de densidad aparente del suelo obtenidos para cada tratamiento.

También se observa una disminución de la densidad aparente con el aumento de la disturbación del suelo por efecto del tratamiento, lo cual supone un consecuente incremento en la porosidad. Asimismo esta tendencia se correlaciona con un aumento de los parámetros K y f<sub>o</sub> (infiltración básica) y del exponente (n) en la función de la infiltración acumulada, con el incremento en el laboreo, en los tratamientos A+2D y A+3D.

En cuanto al efecto del cincel, éste se manifestó en la mayor acumulación inicial (K = 22.97), pero

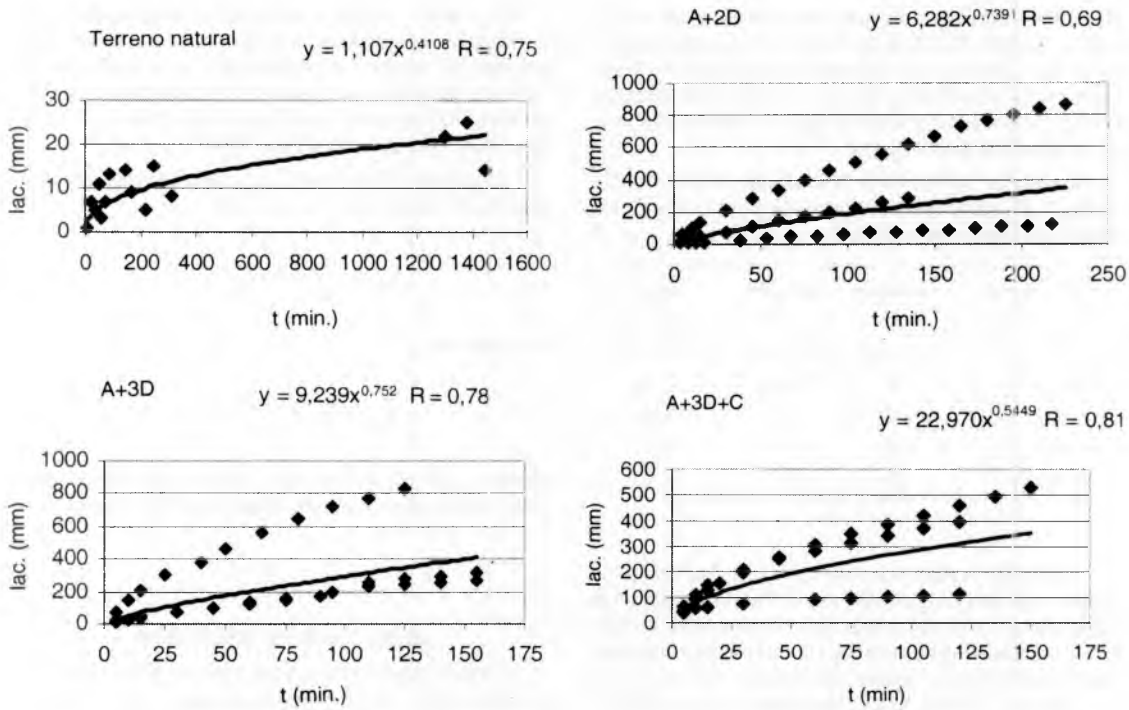


FIGURA 1. Infiltración acumulada experimental ajustada en función del tiempo para suelo natural y los tres laboreos.

CUADRO N° 1. Función de ajuste para la infiltración acumulada y valores de densidad aparente resultante de los distintos laboreos previos.

Tratamiento	$I_{ac} (mm) = K \cdot t^n + f_{ap} \cdot t$	R	$\delta_{ap}$ (gr.cm <sup>-3</sup> )
TN	$1,107 \cdot t^{0,4108} + 0,03 \cdot t$	0,75	1,22
A+2D	$6,282 \cdot t^{0,7391} + 0,83 \cdot t$	0,69	0,85
A+3D	$9,239 \cdot t^{0,7520} + 1,23 \cdot t$	0,78	0,81
A+3D+Ci	$22,970 \cdot t^{0,5449} + 0,52 \cdot t$	0,81	0,79

en un incremento decreciente mayor a los tratamientos con laboreo convencional ( $n = 0,5449$ ), que significó una igualación en la magnitud de lámina acumulada respecto al tratamiento A+3D a los 35 minutos y al tratamiento A+2D a los 290 minutos de iniciado el proceso (Figura 2).

Estos resultados aportan a que la infiltración acumulada no es solo dependiente del mayor labo-

reo, hecho observado en este trabajo en particular donde la introducción del cincel suponía un incremento del proceso respecto de las labranzas convencionales. Es destacable que los sistemas de laboreo ensayados han presentado incrementos importantes respecto al suelo natural.

La variabilidad observada en la infiltración acumulada como respuesta a estos sistemas de labranza, indican una mayor incidencia de la disturbación del suelo frente a un efecto sustancial de la cobertura presente, afirmación que disiente con lo expresado por Freebairn y Gupta (1990).

Las mismas consideraciones hechas para la  $I_{ac}$  son pertinentes en el análisis de la tasa de infiltración  $I_{i(w)}$ . El Cuadro N° 2 muestra la función tasa de infiltración obtenida por derivación para cada uno de los tratamientos.

En la Figura 3 se grafica la función tasa de infiltración respecto del tiempo para los distintos laboreos.

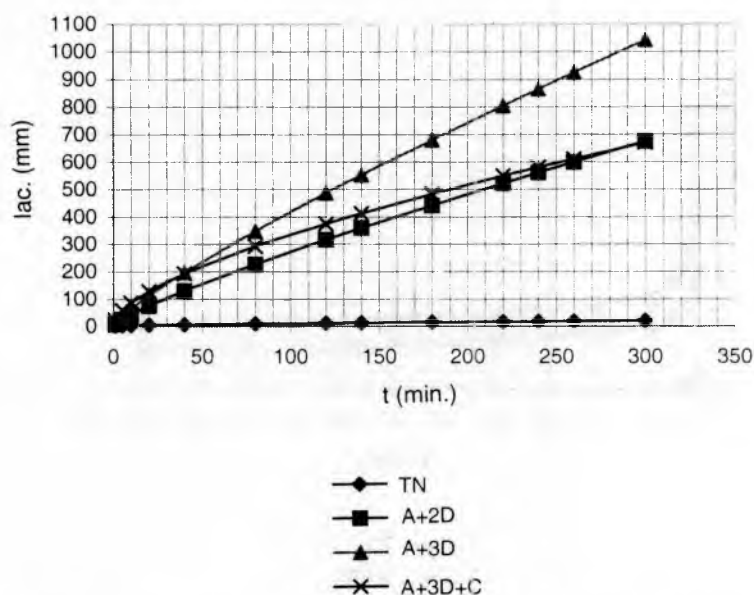


FIGURA 2. Infiltración acumulada en función del tiempo resultante de las funciones ajustadas de los tratamientos.

CUADRO Nº 2. Función tasa de infiltración para cada uno de los tratamientos.

Tratamiento	$I_{i(t)} \text{ (mm min}^{-1}\text{)} = K \cdot t^{-n} + f_0$
TN	$0,454 t^{0,581} + 0,03$
A+2D	$4,643 t^{0,261} + 0,83$
A+3D	$6,947 t^{0,248} + 1,23$
A+3D+C	$12,516 t^{0,455} + 0,52$

La mayor velocidad de infiltración inicial se corresponde con el mayor laboreo del suelo, igualándose el tratamiento A+3D+C con A+3D a los 7 minutos de iniciado el proceso y entre A+3D+C y A+2D a los 60 minutos. La mayor tasa de infiltración básica ( $f_0$ ) se alcanza en el laboreo con A+3D ( $1,23 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ), en correlato con una tendencia más rápida a la estabilización del fenómeno, expresada por la pendiente de la función. También se destaca el comportamiento del TN que, pese al tiempo transcurrido sin laboreo y sin tránsito (alrededor de 15 años), que posee la mayor cobertura vegetal, presentó valores temporales sustancialmente menores respecto a los demás tratamientos en cuanto a las variables que caracterizan la tasa de infiltración.

La tendencia creciente observada en las tasas de infiltración inicial y básica con el laboreo efectuado por el arado de rejas y la rastra de casquetes disienten con los resultados inciertos que menciona Aragón *et al.*, (1997), y los valores alcanzados de estas magnitudes con el tratamiento A+3D+Ci indican que la incidencia de la utilización del arado de cincel (máquina de labranza vertical) combinado con máquinas de labranza convencional, sólo persistió en el aumento de los parámetros estudiados en los tiempos iniciales. Considerando a la infiltración como la principal fuente de humedad del suelo para mantener el crecimiento de la vegetación, se subraya la importancia de la combinación adecuada de las labores culturales previas que incrementen este parámetro.

No obstante todo lo expresado, el proceso de infiltración presenta una compleja variabilidad que no responde sólo al grado de disturbación del suelo, sino que su alcance es espacial y temporal. Esto hace necesario su caracterización en las condiciones particulares según el manejo a que se someterá el suelo durante el ciclo productivo, como también su variabilidad con el tiempo.

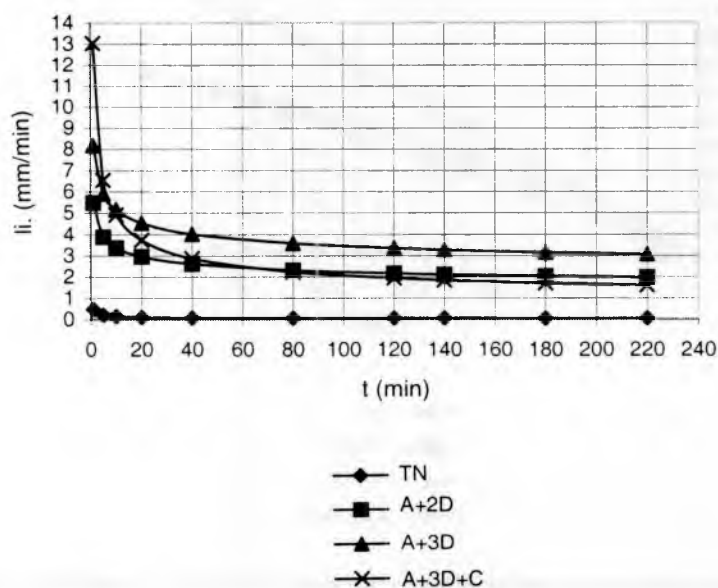


FIGURA 3. Evolución de la tasa de infiltración para los cuatro tratamientos.

### CONCLUSIONES

Para las condiciones del presente trabajo se observó que el proceso de infiltración y la infiltración acumulada se modifican según los sistemas de labranza empleado respecto del suelo natural. Esto permite diagnosticar una menor tasa de escorrentía superficial con el incremento de la disturbación del

suelo ante la ocurrencia de precipitaciones de mayor intensidad, dado que transcurrido el tiempo inicial de aporte de agua, la evolución en el tiempo de la tasa de infiltración y la infiltración básica superaron al suelo natural. Los suelos laboreados presentarían ventajas sobre la condición de suelo natural.

### BIBLIOGRAFÍA

- ARAGÓN, A; J. DIPARDO; R. BALBUENA y H. CHIDICHIMO. 1997. Evolución temporal de la infiltración en tres sistemas de labranza. II Congreso Chileno de Ingeniería Agrícola. CIACH'97. Chile.
- CANNELL, R. and J. HAWES. 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climate. *Soil & Tillage Res.* 30: 245-282.
- CASAS, R.R. 1997. Seminario Siembra Directa. Experiencias del INTA mirando al futuro. 114 p.

- CASSEL, D. and M. WAGGER. 1996. Residue management for irrigated maize grain and silage production. *Soil & Tillage Res.* 39: 101-114.
- CHAMBOULEYRON, J.; J. MORÁBITO y L. FORNERO. 1979. Evaluación de la eficiencia de riego del agua en la finca. IX Congreso Nacional del agua. San Luis '79.
- CHAMBOULEYRON, J.L. 1993. Riego y Drenaje. Tomo I. Cátedra de Hidrología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias. UNC. Mendoza, Argentina. 292 p.
- FREEBAIRN, D. and S. GUPTA. 1990. Microrelief, rainfall and cover effects on infiltration. *Soil & Tillage Res.* 16:307-327.
- GARCÍA PRÉCHAC, F.; M. PÉREZ BIDEGAIN; S. CHRISTIE y P. SANTINI. 2001. Efecto de la intensidad de laboreo en el crecimiento aéreo y radicular de *Eucalyptus dunnii* y sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo. *Agrociencia*-Facultad de Agronomía, Universidad de la República, 5(1):1-9.
- GHARBI, A. 1984. Effect of flow fluctuations on free-draining and sloping furrow and border irrigation systems. MS Thesis, Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah. Unpublished document. 123 p.
- GUROVICH, L.A. 1999. Riego superficial tecnificado. Alfaomega. Ediciones Universidad Católica de Chile. 610 p.
- HAISE, H.R.; W.W. DONNAN; J.T. PHELAN; L.F. LAWHON and D.G. SHOCKLEY. 1956. The use of cylinder infiltrometers to determine the intake characteristics of irrigated soils. Publ. ARS 41-7, Agricultural Research Service and Soil Conservation Service, USDA, Washington DC.
- LUQUE, J.A y J.D. PAOLONI. 1974. Manual de Operación de Riego. 2ª Ed. Buenos Aires, Argentina. Ediciones Riagro. 330 p.
- SCHWAB, G.; R. FREVERT; T. EDMISTER y K. BARNES. 1990. Ingeniería de conservación de suelos y agua. Noriega Editores. México. 570 p.
- WALKER, W.R. 1989. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation system. Irrigation and drainage. FAO. paper NE 45, 30-33 p.
- YOUNG, E. 1991. Infiltration measurements a review. *Hydrological processes.* 5: 309-320.