

ESTIMACION DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA A PARTIR DE LA INFILTRACION Y DE PARAMETROS TEXTURALES Y ESTRUCTURALES DEL SUELO

VERA, J. (&), PELEGRIN, F. (\*), MORENO, F. (&), MARTIN ARANDA, J. (&)

(&) INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES Y AGROBIOLOGIA. SEVILLA

(\* ) ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA AGRICOLA. CEI. SEVILLA

RESUMEN

La conductividad hidraulica saturada medida en laboratorio es comparada con dos modelos de estimación de la misma, uno empírico y otro fundamentado en la teoría del medio poroso similar, en una experiencia de campo con cinco tratamientos de laboreo. Ambas estimaciones difieren con respecto a las medidas de laboratorio, si bien para el modelo teórico se ha encontrado una correlación de 0.95.

INTRODUCCION

La infiltración (I) define el proceso por el cual el agua penetra en el suelo. La tasa de infiltración disminuye exponencialmente conforme aumenta el tiempo hasta estabilizarse con valores próximos a la conductividad hidráulica saturada ( $K_s$ ). Este proceso es de gran importancia para el diseño de sistemas de riego, para estimar la escorrentía y para favorecer la recarga hídrica del suelo.

Existen diversos trabajos en la bibliografía que relacionan  $K_s$  con la tasa de infiltración, variando ésta entre .5 y .9 $K_s$  (Bouwer, 1956; Morel-Seytoux, 1973); los cambios en la tasa de infiltración están estrechamente relacionados con las labores dadas al suelo como ha puesto de manifiesto recientemente, para suelos de Andalucía, Pelegrín y col. (1987, 1988).

La medida de  $K_s$  exige numerosos muestreos que limitan un seguimiento sistemático de la variación de los mismos como consecuencia de los cambios estructurales que se producen en la capa arable. Ello ha dado lugar al desarrollo de modelos para estimar  $K_s$ : de forma teórica Youngs (1987) determinó  $K_s$  en función de  $I$  mientras que Campbell (1985) estimó  $K_s$  de forma empírica en función de datos texturales y de densidad aparente.

El presente trabajo tiene por objeto la comparación de  $K_s$  medidas en laboratorio con  $K_s$  estimadas por los modelos de Youngs y Campbell, correspondientes a una experiencia de campo con cinco prácticas culturales.

## MATERIAL Y METODOS

El trabajo experimental se ha llevado a cabo en una parcela de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola del Centro de Enseñanzas Integradas de Sevilla. El suelo de la parcela está clasificado como Haploxeralf y cuya composición granulométrica muestra unos valores medios, en los primeros 40 cm del perfil, que son: 22.1 %, 42.7 %, 8.5 % y 27.7 %, para arena gruesa, arena fina, limo y arcilla, respectivamente. La variabilidad espacial para esta zona del perfil es muy baja. Por debajo de los 40 cm el suelo se hace mas arcilloso con la profundidad.

Los tratamientos de labor utilizados han sido los siguientes : labor con arado de discos, con arado de vertedera, con cultivador, con grada de discos y no laboreo. Para cada tratamiento se han utilizado subparcelas de 3 m x 28 m.

La medida de la infiltración se ha realizado in situ utilizando infiltrómetros de doble anillo (Bouwer, 1961), cuyos diámetros son 10,5 cm para el interior y 30 cm para el exterior. En cada tratamiento se efectuaron tres repeticiones. La conductividad hidráulica en suelo saturado ( $K_s$ ) se midió en laboratorio mediante un permeámetro de carga constante (Martín Aranda, 1973) siguiendo la técnica de Flannery y Kirkham (1964). Para estas medidas se utilizaron muestras, tomadas en cilindros de 8 cm de diámetro y 4 cm de altura, correspondientes a los 5 cm primeros del perfil. En cada tratamiento y para cada uno de los sitios de los ensayos de infiltración se tomaron tres repeticiones por muestra.

### MODELOS EMPLEADOS PARA LA ESTIMACION DE $K_s$

En el modelo de Youngs la infiltración acumulada empleando coordenadas cilíndricas -que son más adecuadas para ensayos mediante doble anillo- tiene la expresión:

$$I = 2\pi \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} (\theta_s - \theta_i) r dr dz \quad [1]$$

A partir de esta ecuación y mediante la teoría del medio poroso semejante de Miller y Miller (1956) introdujo variables a escala que permiten deducir la siguiente expresión analítica:

$$K_s = \delta g r^4 (\theta_s - \theta_i)^2 \div \sigma^2 t^2 [-0.365 + (0.133 + I r^3 (\theta_s - \theta_i)^{1/2})^2] \quad [2]$$

en donde,

$\delta$  = densidad del agua (1 g/cm<sup>3</sup>)

$g$  = aceleración de la gravedad (981 cm/s<sup>2</sup>)

$\mu$  = viscosidad del agua (0.01 g/cm.s a 20°C)

$\theta_s$  = contenido de agua en saturación (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

$\theta_i$  = contenido de agua inicial (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

$\sigma$  = tensión superficial del agua (71.9 g/s<sup>2</sup>)

$r$  = radio del anillo interior del infiltrómetro (10.5 cm)

$t$  = tiempo de infiltración (s)

I=infiltración acumulada (cm3)

El modelo de Campbell, en contraposición con el anterior es empírico, y tan sólo considera la composición granulométrica del suelo y la densidad aparente como factor estructural de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$K_s = C(1.3/D_a)^{1.3} b e^{(-6.9mc - 3.7ms)} \quad [3]$$
$$b = 1/\sqrt{(e^{\sum m_i \ln(d_i)} + .2 \sqrt{[\sum m_i (\ln d_i)^2 - (\sum m_i \ln d_i)^2]}}$$

en donde,

$D_a$ =densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

$mc$ =fracción de arcilla (sin dimensiones)

$ms$ =fracción de limo (sin dimensiones)

$m_i$ =fracción textural de la clase  $i$  (sin dimensiones)

$d_i$ =diámetro de la clase  $i$  (mm)

$C$ =constante de valor .141 (mm/h)

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla I se muestran los resultados correspondientes a la infiltración acumulada, humedad inicial del suelo y densidad aparente para cada uno de los tratamientos considerados, en dos fechas diferentes. Los valores del mes de Noviembre de 1986 reflejan la situación de la capa arable inmediatamente después de las labores, mientras que en Junio de 1987 los resultados obtenidos muestran que después de varios meses y de todo el ciclo de cultivo, la capa superficial del suelo ha sufrido un proceso de compactación y sellado. En ambas épocas existen diferencias acusadas entre los tratamientos tanto en una fecha como en la otra.

Con los valores de la Tabla I se han estimado las  $K_s$  mediante los modelos de Youngs (1987) y Campbell (1985) obteniéndose los resultados recogidos en la Tabla II. El análisis de los resultados pone de manifiesto que los valores de  $K_s$  obtenidos por el modelo de Youngs presentan diferencias de varios órdenes de magnitud con respecto a los medidos en laboratorio. Sin embargo, existe una correlación muy estrecha ( $r=.95$ ) como puede apreciarse en la Figura Ia.

La estimación por el modelo de Campbell conduce también a resultados diferentes y, aunque las diferencias absolutas no sean tan acusadas como en la aplicación del modelo de Youngs, las variaciones relativas guardan poca relación con las medidas realizadas en laboratorio. Este hecho podría interpretarse como que en el modelo de Campbell el factor estructural (densidad aparente) adquiere mayor influencia a partir de un determinado valor para el cual la distribución de tamaños de poros es tal que los diámetros mayores -más efectivos en la conducción de agua- contribuyen en tanta extensión. La relación con la  $K_s$  medida no es biunívoca como puede apreciarse en la Figura Ib en donde la dispersión de observaciones no permite más que trazar una zona de relación delimitada por dos rectas.

TABLA I Infiltración, humedad y densidad aparente

NOVIEMBRE 1986 Tratamiento	JUNIO 1987			I	θi	Da
	I	θi	Da			
disco	700	.169	1.22	435	.123	1.36
vertedera	560	.180	1.25	291	.090	1.33
cultivador	445	.199	1.24	206	.115	1.43
grada de disco	424	.191	1.34	44	.138	1.40
no laboreo	170	.205	1.51	39	.171	1.64

& (I= mm, Da= g/cm<sup>3</sup>, θi= cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

TABLA II Valores de Ks según distintos métodos (mm/h)

Tratamiento	laboratorio	Youngs	Campbell
disco	91.6 (64.1)	1.5 (1.0)	15.7 (14.5)
vertedera	45.5 (27.3)	1.2 (0.7)	14.8 (15.5)
cultivador	43.5 (23.9)	0.8 (0.5)	14.7 (16.3)
grada de disco	50.3 (10.0)	0.8 (0.7)	15.6 (16.1)
no laboreo	11.0 (3.3)	0.3 (0.6)	16.9 (18.0)

datos correspondientes a noviembre y (junio)

Al comparar las tasas de infiltración, Figura II, correspondientes a un tiempo de 90 minutos con Ks medidas, se observan valores de aquellas muy superiores a los que en principio cabría esperar (Morel-Seytoux, 1973). Ello podría deberse a que para el tiempo considerado no se ha alcanzado aún el régimen constante de infiltración, lo que al mismo tiempo explicaría las diferencias encontradas entre Ks medidas en laboratorio y estimadas por el modelo de Youngs, como consecuencia de utilizar una infiltración acumulada que no corresponde al tiempo de régimen estacionario.

De los resultados expuestos parece deducirse que la aplicación de este tipo de modelos para estimar Ks debe hacerse muy cuidadosamente y han de ser ajustados y validados para cada situación concreta.

Los resultados obtenidos mediante estos modelos pueden ser sólo orientativos y en muchos casos no utilizables si las condiciones en las que fueron desarrollados difieren esencialmente de las del experimento concreto.

Por último, también hay que tener en cuenta, que la medida de Ks en el laboratorio se encuentra afectada de un cierta desviación con respecto a la realidad ya que el agua tiene limitada la expansión lateral por el anillo metálico, la muestra de suelo es reducida y su parte inferior se encuentra a presión atmosférica.

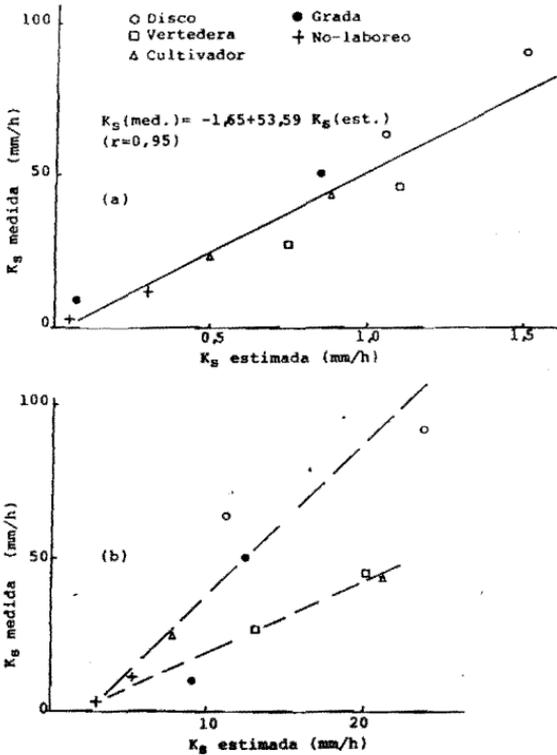


Fig. 1 Relación entre la conductividad hidráulica ( $K_s$ ) medida y la estimada. (a) estimada por el modelo de Youngs; (b) estimada por el modelo de Campbell.

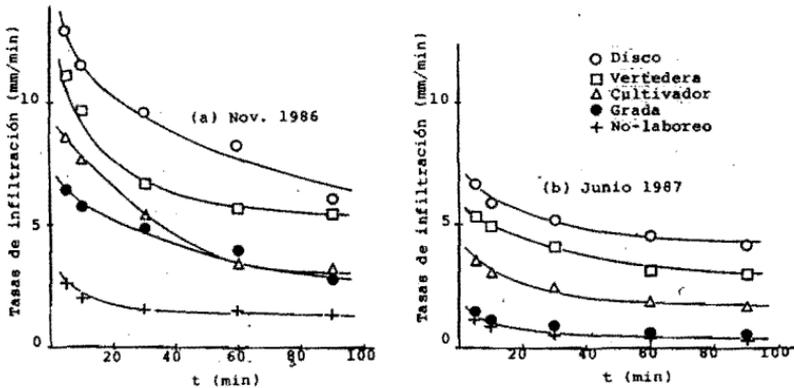


Fig. 2 Tasas de infiltración en los diferentes tratamientos.

## REFERENCIAS

- BOUWER, H. (1961)  
A double tube method for measuring hydraulic conductivity of soil in situ above a water table. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29:334-9
- BOUWER, H. (1966)  
Rapid field measurement of air entry value and hydraulic conductivity as significant parameters in flow system analysis. Water Resour. 1:729-3
- CAMPBELL, G.S. (1985)  
Soil physics with basic, pág 54. Elsevier. Amsterdam
- FLANNERY, R.D., KIRHAM, D. (1964)  
A soil core water permeameter for field use. Soil Sci. 97:233-41
- MARTIN ARANDA, J. (1973)  
Factores físicos fundamentales en la economía de agua de los suelos de Andalucía Occidental. Tesis Doctoral. U. de Granada.
- MILLER, E.E., MILLER, (R.D. 1956)  
Physical theorie for capillary flow phenomena. J. Applied Physics, 27:324-32
- MOREL-SEYTOUX H.J. (1973)  
Two phase flows in porus media. Adv. in Hydrosience 9:118-202
- PELEGRIN, F., CAMPS, M., MORENO, F., LOPEZ, J., FUENTES, J. (1987)  
Influencia del laboreo en la infiltración de agua en el suelo. XIX Conferencia Int. Mecanización Agraria, págs. 45-54. Zaragoza
- PELEGRIN, F., CAMPS, M., MORENO, F., LOPEZ, J. (1988)  
Respuesta de diferentes sistemas de laboreo a la infiltración de agua en el suelo aplicada mediante simulador de lluvia. XX Conf. Inter. Mecanización Agraria (en prensa). Zaragoza
- YOUNGS, E.G. (1987)  
Estimating hydraulic conductivity values from ring infiltrometer measurements. J. Soil Sci. 38:623-32