

Influencia de diferentes tratamientos de laboreo con tracción animal en la infiltración y la conductividad hidráulica de un suelo Ferralítico Rojo

Influence of different tillage treatments with animal power in the soil hydraulic conductivity and soil infiltration for a Ferralsol

Calixto Domínguez Vento¹, Reinier Quintana Echevarría², Maria E. Ruiz Pérez³, Jorge Díaz Suárez⁴

RESUMEN. La erosión por las prácticas de laboreo representa un proceso de degradación del suelo de elevada intensidad. En las áreas agrícolas de la cuenca del Río Cuyaguaje, los animales de trabajo son la principal fuente de potencia para las labores agrícolas. El estudio fue conducido en parcelas, y en ellas fueron realizados tres experimentos. El primero: laboreo con arado de vertedera en contorno (c), el segundo, rastrillo perpendicular al contorno (r) y el tercero, arado a favor y en contra de la pendiente (af y cp). En todos los casos fueron realizadas mediciones de infiltración, conductividad hidráulica y humedad gravimétrica. A partir del análisis de las mediciones realizadas los mejores resultados se observan para laboreo en contorno más rastrillo.

Palabras clave: laboreo, erosión, conductividad hidráulica

ABSTRACT. Soil erosion due tillage practices represents a high intensity soil degradation process. Animals are the main power source used in the agricultural labours in the areas of the Cuyaguaje watershed. The study was carried out in plots where three experiments were made: 1) farming with dumped plough in contour (c); 2) Rake applied perpendicular to the contour (r) and 3) tillage in the direction and on the opposite direction in relation with the slope (af and cp). The best results were obtained for rake applied perpendicular to the contour.

Keywords: tillage erosion, hydraulic conductivity, infiltration

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el estudio de factores relacionados con la erosión de los suelos es de mucho interés, sobre todo en los países tropicales, donde el sustento económico depende fuertemente de la agricultura (FAO, 2000) y a su vez, es en ellos donde se ha hecho un uso más irracional de los recursos, que ha propiciado un incremento de las causas que promueven la erosión.

Cuba también es parte de esto, pues según Alonso (2006), el problema medioambiental más serio de Cuba es la degradación de los suelos, lo que responde en gran medida a su intensa actividad erosiva. Como resultado alrededor del 70% del área cultivable sufre los efectos de la degradación, y de ella aproxi-

madamente un 43,3% esta fuerte o medianamente erosionado.

En este sentido el laboreo del suelo ha influido en la pérdida de la capa arable y en el cambio desfavorable de propiedades físicas, químicas e hidráulicas entre éstas últimas la infiltración y la conductividad hidráulica. Estas propiedades determinan cómo tiene lugar la entrada del agua en el perfil del suelo (infiltración) y cómo se mueve en sus diferentes horizontes (conductividad hidráulica). En este sentido es conveniente conocer cuál es la mejor manera de realizar el laboreo, de forma tal que se obtengan las condiciones más favorables para el desarrollo del cultivo y se conserve el suelo en la mejor medida.

El presente trabajo aborda el estudio de la influencia que ejercen diferentes tratamientos de laboreo empleados comúnmente en La Cuenca del Río Cuyaguaje, basados en el uso de

Recibido 06/09/10, aprobado 31/03/11, trabajo 26/11, investigación.

¹ Ing., Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), UCTB Pinar del Río, Cuba, E-✉: secaseguramiento@tel.co.cu

² Ing. Delegación Territorial MINAG, Subdelegación de Mecanización, Matanzas, Cuba.

³ Dr. C., Prof. Tit., Universidad Agraria de La Habana, Jefa Grupo de Investigaciones Agrofísicas (GIAF), Mayabeque, Cuba.

⁴ Lic., Prof., Universidad Agraria de La Habana, Grupo de investigaciones Agrofísicas (GIAF), Mayabeque, Cuba.

la tracción animal sobre la conductividad hidráulica saturada y la infiltración del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos fueron efectuados en Cabeza, municipio Minas de Matahambre perteneciente a la subcuenca “V Aniversario”, con un área de 157 km² (INRH, 2000); ubicado en la Cuenca del Río Cuyaguaje. La misma está situada en la provincia de Pinar del Río y tiene una superficie de 723 km², por lo cual es la mayor de la provincia y de la región occidental de Cuba.

Para el estudio fueron seleccionadas 10 parcelas a lo largo del gradiente de una ladera, con un área de (5x5 m) y pendientes variadas de 4 a 16,5%. El suelo del área de estudio fue un Ferralítico Rojo según Instituto de suelo (1975), con un contenido de arcilla de 80%, 10% de arena, menos 0,5% de CaCO₃ y 2% de materia orgánica. El suelo presenta un grado de erosión variable de acuerdo a la topografía según CTCH (2003).

Características de los aperos usados en la preparación del suelo



FIGURA 1. a) Arado de vertedera o americano utilizado y b) Grada de púas utilizada.

Grada de púas: Consiste de un bastidor rectangular o triangular, rígido de madera o metal al que se fijan las púas. La usada en los experimentos se muestra en la (Figura 1b), comúnmente conocida por los campesinos como rastrillo, que es utilizado para el acondicionamiento de presiembra y tiene por objetivo romper los terrones y acondicionar el suelo antes de la siembra o plantación.

Infiltración y conductividad hidráulica

Para cada operación de laboreo fueron hechas 9 medidas aleatorias, usando el método de un solo anillo, con el permeámetro de Guelph (Reynolds y Elrick, 1986). Utilizado de acuerdo con Dane y Topp (2002), para medir, el índice de infiltración, $q=dI/dt$ (mm·h⁻¹), y la conductividad hidráulica saturada de campo, K_{fs} (mm·h⁻¹), hasta una profundidad de 2 m (Figura 2).

Para cada medida se uso un anillo plástico de 19,65 cm diámetro interior, introducido en el suelo hasta 5 cm de profundidad. Para mejorar el contacto entre el suelo y la superficie interior del anillo, el suelo fue ligeramente apisonado para impedir fuga. Dentro del anillo, una altura constante de agua de 5 cm fue obtenida por el uso del sistema Mariotte del permeámetro de Guelph, que fue colocado en el centro del anillo

Tradicionalmente los campesinos han utilizado para la labranza del suelo, la tracción animal, con un grupo reducido de aperos de producción industrial o artesanal, tales como el arado de palo criollo o sitioero, el arado espolón o puyón surcador, el arado de vertederas o americano (Figura 1a), el cultivador de tres o cinco órganos y la grada de púas (Figura 1b) fundamentalmente.

Para la realización de los experimentos se siguió el orden siguiente: evaluando el laboreo en contorno empleando arado americano, mientras que el segundo se realizó en sentido contrario a la pendiente de la ladera con el mismo implemento. El tercer experimento se realizó con rastrillo a favor y en contra de la pendiente de forma tradicional o sea cruzado a las operaciones de aradura.

Arado de vertedera: El arado de vertedera de tracción animal tiene un diseño muy similar a los de reja y cincel, pero posee; una vertedera para desplazar y voltear lateralmente el suelo cortado, además de una rueda de profundidad para regular la penetración en el terreno. El timón es corto y el tiro por la yunta se hace por medio de una cadena. Este arado es conocido como (arado americano) construido todo de metal y de un solo surco para una sola yunta (Figura 1a).

(Figura 2). En intervalos de tiempo fijos de 15 s fue registrada la altura del agua en el interior del recipiente y medida la velocidad de infiltración. La medición fue terminada a los 45 min momento en que la infiltración se comporto de forma estable. Además, fueron tomadas muestras de suelo en cilindros de volumen conocido, pesadas y posteriormente secadas en la estufa (105 °C), para luego de pesadas nuevamente, obtener la humedad gravimétrica promedio.



FIGURA 2. Permeámetro de Guelph con un solo anillo.

Cálculo de la conductividad hidráulica saturada

La condición de estado casi estacionaria de infiltración puede ser descrita usando la relación Reynolds y Elrick (1990):

$$\frac{q_s}{K_{fs}} = \frac{Q}{m^2 K_{fs}} = \frac{H}{C_1 d + C_2 a} = \frac{H}{\alpha^* (C_1 d + C_2 a)} + 1 \quad (1)$$

donde q_s ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$) es la velocidad de infiltración de la condición de estado casi práctica, Q ($\text{mm}^3\cdot\text{h}^{-1}$) es la velocidad correspondiente del flujo casi contante, a (mm) es el radio del anillo, H (mm) es la profundidad constante de agua en el anillo, d (mm) es la profundidad de inserción del anillo en el suelo, α^* (mm) es la longitud del capilar macroscópico del suelo, $C_1 = 0,316\pi$ y $C_2 = 0,184\pi$ son constantes adimensionales casi empíricas que aplican $d \geq 3\text{cm}$ y $H \geq 5\text{cm}$ y otros parámetros citados anteriormente. Pero Dane y Topp (2002), proponen la aplicación directa de la ecuación 2 para la determinación de K_{fs} :

$$K_{fs} = \frac{q_s}{\frac{H}{C_1 d + C_2 a} + \frac{1}{\alpha^* (C_1 d + C_2 a)}} \quad (2)$$

donde el parámetro α^* puede ser estimado por las categorías del suelo textura y estructura según (Dane y Topp, 2002), para este suelo fue usado un valor de $0,012 \text{ mm}^{-1}$, por ser un suelo agrícola.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Comportamiento de la infiltración según la humedad del suelo existente antes del laboreo (AL)

La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones o el riego que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo. Es un proceso determinado en gran medida por la condición de humedad del suelo, de la estabilidad de agregados y de varias propiedades del suelo como la continuidad de porosidad, y la porosidad, las cuales varían con el laboreo Jabro *et al.* (2008). En las infiltraciones realizadas en el campo antes de realizar labor agrícola alguna, se evidenciaron cambios significativos en cada una de las infiltraciones realizadas Figura 3, la humedad gravimétrica promedio (w) fue de $0,36 \text{ g/g}$.

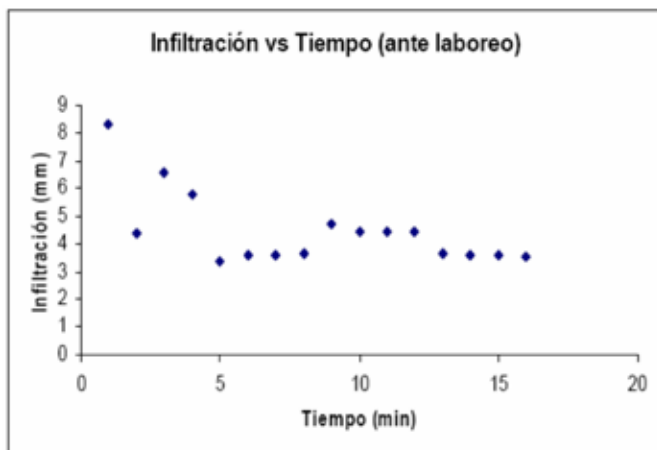


FIGURA 3. Gráfico típico de infiltración vs tiempo (AL).

Dichas curvas muestran realmente que el suelo estaba insaturado porque en poco tiempo absorbió toda el agua del permeámetro y la columna de agua medida cada 1 minuto alcanzó la condición de estabilidad a los 45 min. Se observa la lámina de agua que penetró en el suelo al transcurrir el tiempo para un valor de $8,3 \text{ mm}$ hasta que los poros del suelo se van llenando y el flujo de agua se estabiliza a $3,5 \text{ mm}$. No obstante a pesar de que tenía cierto grado de compactación se observó una buena infiltración lo cual resulta muy adecuado para ser aprovechado como área agrícola.

Comportamiento de la infiltración según la humedad del suelo existente después de laboreo (DL) en contorno y rastillo

Después de realizar labranza en contorno y rastillo, o sea cruzado a la labranza, en las parcelas se mostró un comportamiento estable en la lámina de agua que penetró en el suelo al respecto al tiempo. La Figura 4 muestra el agua que atravesó el suelo al cabo de un minuto partiendo de una lámina de agua de 20 mm donde son evidentes algunas fluctuaciones pero hay un patrón de estabilidad al final de la curva de 11 mm . Es necesario señalar que los días antes a realizarse los experimentos el suelo fue saturado producto de la lluvia natural. La humedad gravimétrica media fue de $0,42 \text{ g/g}$ la cual es un indicador directo del grado de estructura del suelo. Además de ser una propiedad muy variable dentro de un mismo suelo, por lo que la infiltración tuvo cambios en cuanto a la columna de agua que penetró en el suelo en cada una de las parcelas donde se ejecutó.

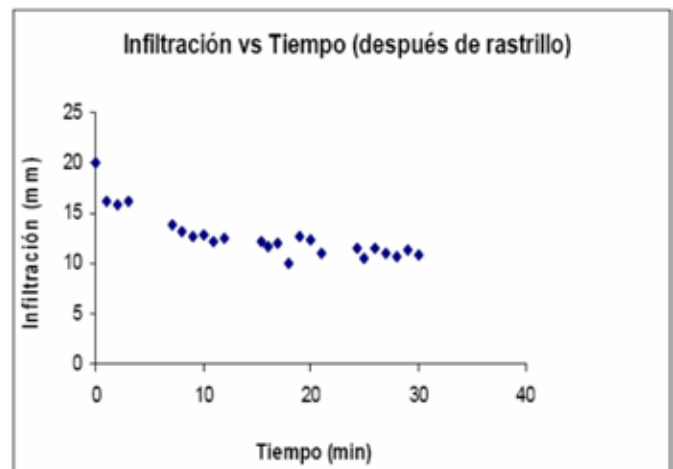


FIGURA 4. Gráfico típico de infiltración vs tiempo después de (LC+R).

Comportamiento de la infiltración según la humedad del suelo existente (DL) a favor y contrario a la pendiente (af y c)

La relación que posee la infiltración con la humedad es inversa, es decir a mayor humedad menor infiltración y viceversa, obteniéndose un valor promedio de la humedad gravimétrica de $0,37 \text{ g/g}$, como se observa en la (Figura 5) el proceso de infiltración fue rápido por el bajo contenido de humedad que tenía el suelo. Es visible que la lámina de

agua al principio de la curva es alta partiendo de 11,5 mm, con algunos espacios sin puntos en la gráfica producto a la rápida infiltración por lo que se llenó el permeámetro en varias ocasiones, hasta que en el transcurso del tiempo alcanzó a un valor de 5,5 mm la condición de estabilidad lo que sucede realmente con el proceso natural infiltración por lluvia o riego.

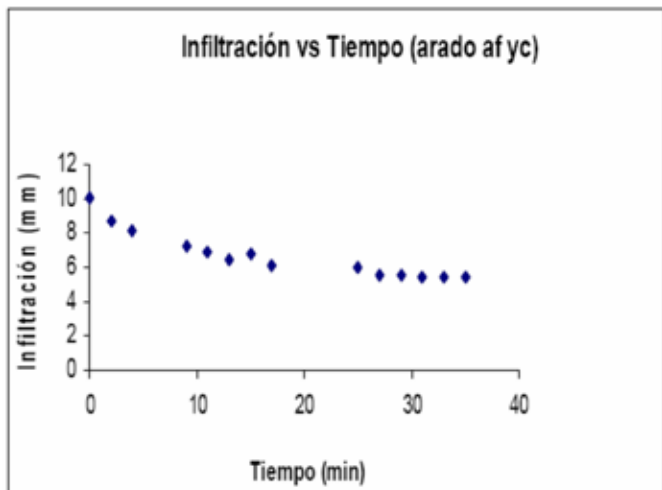


FIGURA 5. Grafico típico de infiltración vs tiempo después del laboreo (af y cp).

Comparación de las infiltraciones AL y DL

Los resultados presentados fueron determinados sobre la base de un mismo suelo pero en diferentes parcelas, donde se aprecian curvas típicas de infiltración en el tiempo para cada experimento antes y después del laboreo, en las curvas de infiltración en el primer instante del experimento antes del laboreo la humedad era baja por lo que el suelo absorbió el agua rápidamente y se prosiguió a llenar nuevamente el permeámetro y seguir con la medición, casi de la misma forma sucedió con el experimento arado en sentido y contra la pendiente, humedad baja proceso de infiltración rápido. Para el caso de arado en contorno mas rastrillo, el proceso de infiltración fue un poco más lento por lo que se explico anteriormente, la lluvia saturó el suelo. En la Tabla 1, se pueden observar que el comportamiento de la humedad gravimétrica no es tan marcado para los casos antes del laboreo y arado en sentido y en contra de la pendiente, ya en el caso de arado en contorno mas rastrillo la humedad aumenta hasta 0,42 g/g lo que puede ser resultado de la lluvia en días anteriores del experimento.

TABLA 1. Contenido de humedad del suelo (AL) Y (DL)

Experimento	Humedad, g/g	Infiltración estabilizada, mm
Antes del laboreo	0,36	8,3
Arado en contorno + rastrillo	0,42	11,0
Arado (af+cp)	0,37	5,5

Además se observa que la velocidad de infiltración es más alta, cuando se realiza labranza en contorno más rastrillo,

pues como es sabido, el rastrillo pasado después del arado, deja una buena distribución del tamaño de agregados, lo que permite que la velocidad de infiltración sea mucho mayor que en los otros tratamientos de laboreo y que la rugosidad aumente Hansen *et al.* (1999). Lo que unido a las ventajas de que la erosión producida por este método, es menor que en otros tratamientos, además de que se disminuye el efecto de la erosión hídrica, constituye una buena justificación para utilizar este tratamiento.

Comparación de la conductividad hidráulica antes y después del laboreo

La conductividad hidráulica constituye una función del suelo considerada una de las más importantes, porque rige el movimiento del agua y por consiguiente de los nutrientes para el cultivo. Esta propiedad constituye una función, cuyo valor máximo es la Conductividad de Saturación (Ks). Teóricamente, ésta se logra cuando todos los poros del suelo están llenos de agua, sin embargo, Bouwer (1986) considera que la conductividad saturada medida en campo (Kf) tiene un valor aproximadamente de la mitad de la conductividad hidráulica saturada verdadera (Ks). Los resultados de la Tabla 2 demuestran que el laboreo usando arado más rastrillo mejora la conductividad hidráulica del suelo, evitando la acumulación de agua en la superficie del suelo y la erosión. Sin embargo, la capa subsuperficial puede resultar compactada producto de estas labores y a largo plazo, provocar un sobrehumedecimiento en esta capa que pueda afectar las raíces del cultivo. Pudiéndose observar los altos coeficientes de variación obtenidos para Kfs, lo cual coincide con lo reportado en la literatura (Nielsen *et al.*, 1973; Warrick y Nielsen, 1980).

TABLA 2. Valores de Kfs

	Kfs (m/d) arado	Kfs (m/d) arado+rastrillo	Kfs (m/d) no laboreo
Media	22,4	45,9	20,5
Coefficiente de variación	11,2	3,12	12,2

Si se analizan los resultados obtenidos se puede observar que el laboreo como refiere Van Oost *et al.*, (2006) con el aumento del volumen de suelo que trae consigo, mejora la porosidad, la rugosidad superficial y la distribución de agregados pequeños convenientes para la germinación de la semilla y el desarrollo ulterior de la planta. Pero es importante tener en cuenta que otros autores plantean que el efecto es solo temporal, entre ellos Gómez *et al.* (1999; Lampurlanes *et al.* (2006); Henderson (1979); Jabro *et al.* (2008); Carter y Colwick (1971), por lo que sería conveniente realizar experimentos similares que permitan tener una idea más clara del fenómeno del laboreo.

De forma general los resultados obtenidos, del comportamiento de la infiltración, antes y después del laboreo se corresponden con los publicados por Osunbitann *et al.* (2005), Thapa *et al.* (2001), Lampurlanes *et al.* (2006), lo que favorece su credibilidad.

CONCLUSIONES

- Antes de realizar labor agrícola se observó que la infiltración de la lámina de agua en el suelo varía de 8,3 a 3,5 mm·min⁻¹ lo que resulta buena infiltración para ser aprovechado como área agrícola.
- La infiltración de la lámina de agua después de realizar labranza en contorno y rastrillo, se observó una variación de 20 a 11 mm·min⁻¹, a partir de donde se manifiesta un comportamiento estable.
- El proceso de infiltración de la lámina de agua después del laboreo a favor y en contra de la pendiente, comenzó con 11,5 mm·min⁻¹, estabilizándose en un valor de 5,5 mm·min⁻¹, lo que sucede realmente con el proceso natural infiltración por lluvia o riego.

- El laboreo usando arado más rastrillo mejora la conductividad hidráulica del suelo.
- Al aplicar el tratamiento labranza en contorno y rastrillo, se obtienen en el suelo las condiciones más favorables para la infiltración.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo mostrado se llevó a cabo en el marco del Proyecto de Cooperación (ZEIN2005PR306) entre el Grupo de Investigaciones Agrofísicas (GIAF) de la Universidad Agraria de La Habana, Cuba y la Universidad de Gante, Bélgica, financiado por el Consejo de Interuniversidades de la región de Flandes, Bélgica (VLIR).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, G.: *Estimación de riesgo de erosión hídrica en la subcuenca V aniversario de Río Cuyaguajateje*. Epígrafe 3.2.2.1 pp. 49-52, **Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero en Mecanización Agropecuaria)**, Universidad Agraria de La Habana, 2006
- CONSEJO TERRITORIAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (CTCH) DE PINAR DEL RÍO: *Diagnóstico ambiental de la cuenca Cuyaguajateje*, Pinar del Río, Cuba, 2003.
- DANE, J. H and C. TOPP: *Methods of soils analysis*, Part 4 Physical Methods, Soil Science Society of America, USA, 2002
- FAO: *Situación forestal en la región de América Latina y el Caribe*, pp. 4.58, Roma, Italia, 2000.
- GÓMEZ, J.A., V. GIRALDEZ; M. PASTOR AND E. FERERES: "Effects of tillage method on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard", *Soil & Tillage Research*, 52:167-175, 1999.
- HANSEN, B.; P. SCHJONNING; E. SIBBESSEN: "Roughness indices for estimation of depression storage capacity of tilled soil surfaces", *Soil Till. Res.*, 52: 103-111, 1999.
- HENDERSON, D.W.: *Soil management in semi-arid environments*, pp. 224-237, In: Hall, A.E., Cannel, G.H., Lawton, L.W. (Eds.), *Agriculture in Semiarid Environments*, Springer, New York, USA, 1979.
- INSTITUTO DE SUELOS: "II Clasificación Genética de los Suelos de Cuba", *Serie Suelos, Acad. Cienc. Cuba*, 23: 7-11, 1975.
- JABRO, J.D.; M. SAINJU; B. STEVENS; W. LENSSEN and G. EVANS: Long-term tillage frequency effects on dryland soil physical and hydraulic properties, In: **International Soil Conservation Organization Conference Proceedings**, May 15-23, 2008, Budapest, Hungary, 2008.
- LAMPURLANÉS, J. and C. CANTERO-MARTÍNEZ: "Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions", *Soil & Tillage Research*, 85: 13-26, 2006.
- NIELSEN, D., J. BIGGAR and K. EHR: "Spatial variability of field-measured soil-water properties", *Hilgardia*, 42(7): 215-259, 1973.
- OSUNBITAN, J.A, J. OYENDELE and O. ADEKALUA: "Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand soil in southwestern Nigeria", *Soil and Tillage Research* 82(1): 57-64, 2005.
- REYNOLDS, W.D. and E. ELRICK: "Method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the conductivity pressurehead relationship", *Ground Water Monit. Rev.*, 6: 84-95, 1986.
- REYNOLDS, W.D. and E. ELRICK: "Ponded infiltration from a single ring. I. Analysis of steady flow", *Soil Science Society of Journal*, 54: 1233-1241, 1990.
- THAPA, B.B., K. Cassel and P. Garrity: "Animal powered tillage translocated soil affects nutrient dynamics and soil properties at Claveria, Philippines", *Journal of Soil and Water Conservation*, 56: 14-21, 2001.
- VAN OOST, K; G. GOVERS; S. DE ALBA and A. QUINE: Assessment of tillage traslocation and erosion by the disk plow on steepland Adisols in Costa, *Progress in Physical Geography*, 30(4): 443-466, 2006.
- WARRICK, A. and D. NIELSEN: *Spatial variability of soil physical properties in the field*. In: *Applications of soil physics*, New York: ed. D. Hillel, Academic Press, USA, 1980.