

# ERODABILIDAD Y TASA DE DESPRENDIMIENTO PRODUCIDO POR LA EROSIÓN HÍDRICA EN SUELOS CON USO AGRÍCOLA GANADERO

E.A. RIENZI<sup>1</sup>

Recibido: 20/09/05

Aceptado: 18/05/06

## RESUMEN

La tasa de desprendimiento ( $D_i$ ) representa la susceptibilidad intrínseca de los suelos a la erosión hídrica y por ello es una importante variable de entrada de los modelos de predicción de la erosión tales como RUSLE y WEPP; cuando su valor se desconoce, deben utilizarse ecuaciones de pedotransferencia para su predicción, pero es incierta la relación con la textura del suelo, las características de los agregados o el contenido de carbono orgánico, lo cual constituye una fuente importante de error para los modelos. Para demostrar estas distorsiones se midieron los valores de  $D_i$  con un simulador de lluvia en suelos de distinta textura y se compararon con los valores obtenidos con las ecuaciones de los principales modelos de predicción de la actualidad. Se observó que la relación entre los parámetros del suelo y la tasa de desprendimiento es compleja y restan validez a las ecuaciones de pedotransferencia, debido probablemente a las interacciones con el uso de la tierra y a la energía involucrada en el proceso de salpicadura. Uno de los interrogantes que aún subsisten es si se produciría alguna mejora en las ecuaciones de predicción, con la inclusión de algún parámetro asociado a la estabilidad de los agregados al agua.

**Palabras clave.** Erosión entre surcos; tasa de desprendimiento; estabilidad de agregados; carbono orgánico; contenido de arcilla.

## ERODIBILITY AND DETACHMENT RATE PRODUCED BY WATER EROSION IN SOILS UNDER CROP-MEADOW LAND USE

### SUMMARY

Detachment rate ( $D_i$ ) represents the intrinsic susceptibility of soil to water erosion and for this reason it is an important input in prediction models like RUSLE and WEPP; when that value are not known, pedotransfer function must be used, but because the relationship among soil texture, aggregate stability and organic carbon content is not clear, it is an important source of error for those models. In order to demonstrate those distortions,  $D_i$  values were measured by using a rain simulator on some soils with different texture and this data were compared with the values obtained by pedotransfer functions from principal soil erosion predictions models in the actuality.

It was observed that relationship between soil parameters and detachment rate was very complex and it reduced the ability of pedotransfer function due to the interference produced by the land use and the energy involved in the splash process. One of the questions that still persist due to the fact of the complexity of the process analyzed here, if the inclusion of the aggregate water stability in the equations of soil erosion models, would produce an advantage on prediction of water erosion.

**Key words.** Interrill erosion; detachment rate; aggregate stability; organic carbon content; clay content.

---

<sup>1</sup>Manejo y Conservación del Suelo, Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453 Buenos Aires, Argentina (C1417DSQ) e-mail: rienzi@agro.uba.ar

### INTRODUCCIÓN

La tasa de desprendimiento (Di) es uno de los más importantes parámetros que caracterizan la susceptibilidad de los suelos frente a la erosión hídrica y se supone que está relacionada con características y propiedades del suelo tales como la textura, el contenido de carbono orgánico, la estabilidad de los agregados y su tamaño (Sharma *et al.*, 1995; Liebenow *et al.*, 1990; Zhang *et al.*, 1998; Valmis *et al.*, 2005).

Sin embargo, existen muchos factores que pueden modificar su expresión, cambiando en forma muy pronunciada los valores predichos por los modelos actuales de erosión, tales como RUSLE o WEPP, los cuales utilizan la tasa de desprendimiento como una de las variables de entrada; si no se conoce el valor de Di, los modelos deben predecirlo por medio de ecuaciones de pedotransferencia que intentan suplir la falta de información existente con relaciones *ad hoc* obtenidas en condiciones de laboratorio (Van Alphen *et al.*, 2001).

Entre los factores más importantes que pueden afectar el valor de Di se encuentran el tipo de labranza y el grado de degradación del suelo; debido a las interacciones entre estos dos factores se pueden producir grandes distorsiones en los valores de erosión hídrica y hasta el momento se desconoce el alcance y la magnitud de las modificaciones que pueden ocurrir con el Di.

Los objetivos de este trabajo consistieron en evaluar la tasa de desprendimiento en distintos suelos y condiciones de uso para determinar la susceptibilidad del suelo a la erosión entre surcos y poner a prueba las relaciones entre el Di y algunas características y propiedades del suelo que son utilizadas en las ecuaciones de pedotransferencia, para poner a prueba la hipótesis de que los parámetros del suelo comúnmente empleados en los modelos de predicción de erosión hídrica no reflejan apropiadamente su erodabilidad.

### MATERIALES Y MÉTODOS

En laboratorio se analizaron 36 situaciones con suelos de diferente textura representativos de las condiciones más frecuentes en la zona húmeda de la Pampa Ondulada (6 suelos con textura franco limosa, 3 suelos con textura franco arcillo limosa y 3 suelos con textura franco arcillosa), utilizándose tres usos de la tierra diferentes para cada textura de suelo: a) praderas implantadas, b) sistemas de

labranza convencional y c) siembra directa; los suelos fueron expuestos a una lluvia de 55 mm.h<sup>-1</sup> con un simulador de lluvias, cuyas gotas de tamaño 2,8 mm desde una altura de caída de 3 m, determinaban una energía cinética de 1.350 J. m<sup>-2</sup> (Rienzi, 1994), durante una hora.

Debido a que la tasa de desprendimiento (Di) evalúa la susceptibilidad del suelo a la erosión, las muestras de suelo provenientes de los sistemas de siembra directa fueron expuestas a la lluvia sin su cobertura, ya que ésta constituye una condición de la superficie del suelo y no una propiedad intrínseca de los agregados.

Se utilizaron tres repeticiones por situación y tratamiento; la salpicadura, el escurrimiento y la infiltración fueron evaluadas simultáneamente en bandejas especiales (Rienzi, 1994). Posteriormente el material de la salpicadura y el escurrimiento fue tamizado por medio de una batería de tamices de 0,05 mm, 0,125 mm, 0,5 mm, 0,75 mm hasta 1 mm de abertura y se secó a estufa a 105 °C hasta constancia de peso seco. Posteriormente se midió el diámetro medio geométrico (DMG) (Mazurak, 1950) de la distribución de agregados en el desprendimiento producido por salpicadura y por escurrimiento.

En los suelos empleados se evaluó en todos los casos el contenido de limo y arcilla (Day, 1965), el contenido de carbono orgánico (Walkley and Black, 1965) y el diámetro medio promedio (MWD) (Kemper and Rosenau, 1986), en submuestras tomadas desde los mismos tratamientos.

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico Statgraphic 6.0, empleando análisis de variancia de una sola vía y test de Tuckey para las medias en un diseño en bloques completamente aleatorizado. Asimismo fue utilizado un modelo de regresión lineal simple y un análisis de correlación para determinar la relación entre los distintos parámetros (Steel y Torrie, 1992).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra la tasa de desprendimiento (Di) en distintas texturas para diferentes usos de la tierra; los valores observados en los distintos tratamientos fueron desde 8,6 l. 10<sup>-6</sup> hasta 4,0. 10<sup>-4</sup> kg.m<sup>2</sup>. seg<sup>-1</sup>. En los suelos con praderas el Di observado fue menor que el hallado en las muestras que provenían de suelos con uso agrícola.

Los valores más bajos hallados en los tratamientos con pasturas se deben probablemente a su mayor estabilidad estructural, aun tratándose de los suelos con texturas muy susceptibles a la erosión como es el caso de los suelos franco limosos.

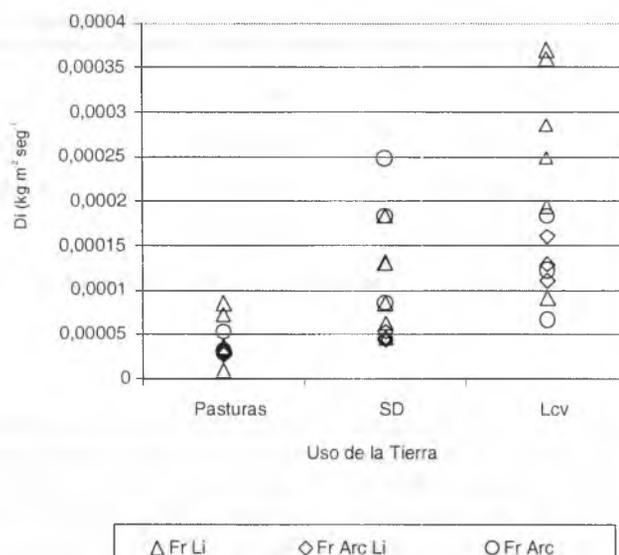


FIGURA 1. Relación entre la tasa de desprendimiento (Di) y el uso de la tierra (Labranza convencional Lcv, Siembra directa SD y pasturas) para las distintas texturas analizadas (FrLi, Franco Limosa; FrArcLi, Franco Arcilla Limosa; FrArc, Franco Arcillosa).

La mayor dispersión de los datos se produce especialmente con la textura franco limosa, y ello parece ser independiente del uso de la tierra. Los valores más elevados de Di, como era esperable, ocurren bajo labranza convencional (Lcv) lo cual parece ser el resultado del exceso de refinado de las camas de siembra. En el caso de los valores de Di observados en los sistemas de siembra directa, aún cuando los lotes tenían más de 7 años de antigüedad en el momento del ensayo, éstos pueden ser explicados porque una gran parte de la protección de este sistema se basa en la cobertura del suelo, la cual debería ser superior al 60% para ser efectiva contra la erosión (Guérif *et al.*, 2001), mientras que aquí la metodología empleada requiere exponerlos al simulador de lluvias sin su cobertura.

Otra razón que puede explicar el comportamiento observado en los agregados de la siembra directa es que los aumentos de carbono orgánico no produjeron un aumento proporcional en la estabilidad estructural de los suelos en estos sistemas, probablemente porque se trata de compuestos orgánicos muy lábiles, los cuales requieren un período de tiem-

po mayor para generar estabilidad en los agregados (Bronick and Lal, 2005)

A diferencia con la siembra directa, las praderas construyen la estabilidad de los agregados con las raíces y el ambiente microbiológico que se establece durante un período de años más o menos prolongado en esa condición (Haynes and Beare, 1997); en los suelos con siembra directa, en cambio, los parámetros orgánicos y biológicos se incrementan más rápidamente que los parámetros físicos (Martens, 2000).

El Cuadro 1 muestra el análisis de correlación para los valores medios de Di y diferentes parámetros del suelo; la falta de relación debería interpretarse como una consecuencia de las modificaciones provocadas por las prácticas de labranza y la ausencia de una verdadera relación lineal entre los distintos parámetros.

Los parámetros del suelo utilizados en este trabajo parecen haber sido poco sensibles para mostrar las diferencias de comportamiento del suelo frente a la erosión hídrica. Así, puede observarse que a pesar de la relación entre el contenido de carbono orgánico

CUADRO 1. Análisis de Correlación entre las variables medidas. Di (tasa de desprendimiento); C.O. (contenido de carbono orgánico); DMP: (diámetro medio promedio).

Variables	Di	DMP	C.O.
Arcilla	- 1,77 (NS)	+ 0,768(NS)	+0,40009 (***)
Limo	- 2,468 (NS)	- 0,746 (NS)	- 0,8164 (****)
C.O.	- 0,01 (NS)	+ 2,638 (NS)	

Referencias: NS: no significativo; \*\*\* = significativo  $p < 0,01$ ; \*\*\*\*= significativo  $p < 0,001$

(CO) y la textura de los suelos, no existe relación entre CO y Di. Las relaciones entre carbono orgánico (CO) o el diámetro medio ponderado (DMP) se encuentran dentro de lo esperado pero ninguno de estos parámetros ha demostrado una alta relación con el Di, lo cual disminuye su capacidad como factor de predicción.

La fuerte influencia de la salpicadura sobre las pérdidas totales en el proceso de erosión entre sur-

cos en suelos donde las pendientes no son predominantes, produce grandes variaciones en los resultados debido fundamentalmente a la diferencia en la ruptura de agregados (Rienzi, 1994; Roth and Eggert, 1994), lo cual puede explicar parcialmente los resultados hallados.

La Figura 2 muestra el escaso ajuste observado para uno de los parámetros más comunes utilizados en los modelos de predicción de la erosión hídrica;

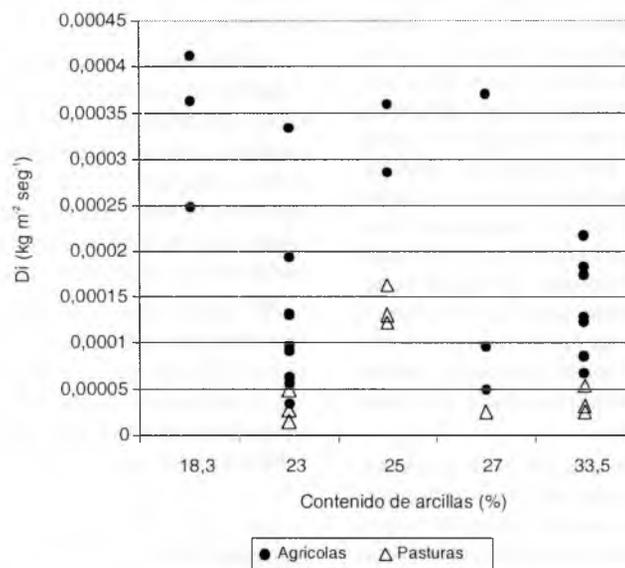


FIGURA 2. Relación entre la tasa de desprendimiento (Di) y el contenido de arcillas de los suelos analizados para distintos usos de la tierra.

en este caso se utilizó la relación entre el  $D_i$  con la arcilla debido a que este parámetro puede modificar la resistencia del suelo y la estabilidad de los agregados frente a la erosión (Sharma *et al.*, 1995).

Se observa que las muestras de suelo que provienen de lotes con praderas, los cuales tienen una mejor estabilidad de los agregados, presentaron una menor variabilidad en  $D_i$  que los suelos que estuvieron bajo sistemas de labranza, pero los valores hallados no tienen relación con el contenido de arcillas de los suelos. Más aún, en el caso de los suelos agrícolas, la relación con el contenido de arcilla es inversa y sugiere por lo menos la presencia de dos grupos diferentes, uno de ellos para suelos con contenidos menores a 25% de arcilla y otro para los suelos que tienen un contenido mayor al 25% de arcilla.

Sharma *et al.* (1995) presentaron una ecuación para predecir el valor de erodabilidad de los suelos ( $K_i$ ), el principal componente de la tasa de desprendimiento ( $D_i$ ), usando los datos del contenido de arcilla de los suelos; esta ecuación fue utilizada aquí para comparar los resultados estimados de los valores de  $K_i$  con los medidos con simulador de lluvias

para los suelos empleados en nuestra experiencia.

La ecuación que propusieron Sharma *et al.* (1995) es la siguiente:

$$K_i = D_i \cdot I^{-1} \cdot Sf^{-1}$$

Donde:  $K_i$  es la erodabilidad del suelo

$D_i$ : tasa de desprendimiento

$I$ : la intensidad de la lluvia en  $\text{mm h}^{-1}$  y

$Sf$ : gradiente de la pendiente en porcentaje.

Debido a que en nuestro ensayo se utilizó en todos los casos un grado muy bajo de pendiente y el mismo para todos los suelos,  $Sf$  resulta de valor despreciable y constante; por otra parte, la intensidad de la lluvia fue siempre la misma, por lo que en este caso el  $D_i$  coincide directamente con el valor de  $K_i$ .

Los resultados se observan en la Figura 3, la cual muestra que sólo algunos valores pudieron ser predichos por el contenido de arcilla de los suelos, debido a la escasa validez del supuesto establecido en la ecuación de Sharma *et al.* (1995) con respecto a

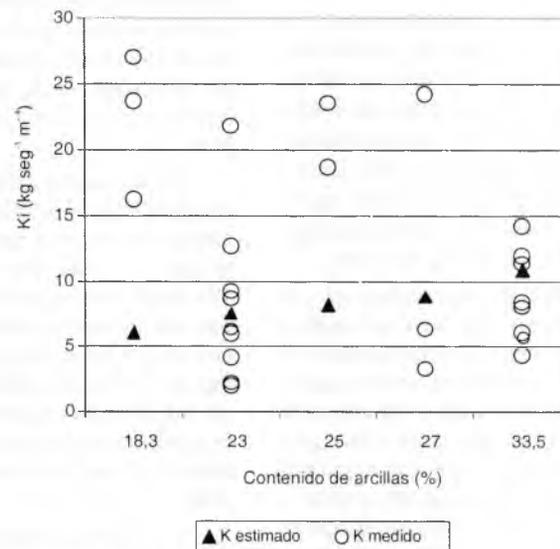


FIGURA 3. Datos de erodabilidad ( $K_i$ ) estimados con la ecuación de Sharma *et al.* (1995) comparados con los datos medidos con simulador de lluvias.

la relación directa entre el contenido de arcilla y el Di (Figura 2).

Bajracharya *et al.* (1992) encontraron problemas similares en suelos con contenidos de arcilla menores a 35%, sugiriendo que ello se debía a la escasa correlación entre los valores medidos de Ki y los estimados con las ecuaciones propuestas en el modelo WEPP.

Gronsten and Lundekvam (2005) trabajando con suelos con contenidos de arcilla de 26 a 29%, encontraron que las predicciones de las pérdidas producidas por erosión utilizando ese modelo era inferior a los valores medidos en condiciones de campo.

Este aspecto del problema parece ser confirmado por nuestros resultados, pero al mismo tiempo se observa la presencia de dos familias diferentes de curvas representadas por dos ecuaciones distintas, las que podrían depender del contenido de arcilla.

Las correcciones efectuadas por Liebenow *et al.* (1990) incluidas en el modelo WEPP, basándose en un ajuste de los valores de Sf también producirían el mismo resultado en nuestro caso porque la pendiente fue siempre constante y la misma para todos los suelos empleados.

Las diferencias de predicción son debidas en general a considerar a los procesos de erosión entre surcos como dependientes del escurrimiento y la pendiente, en lugar de considerarlas como dependientes de la energía de impacto de las gotas de lluvia; Wan *et al.* (1996) llegaron a la misma conclusión analizando estos procesos en suelos tropicales bien estructurados y con pendientes cortas. Por su parte, Valmis, *et al.* (2005) encontraron un mejor ajuste cuando utilizaron índices de estabilidad de agregados en lugar del contenido de arcilla del suelo.

La relación entre la tasa de desprendimiento y la textura del suelo al parecer es mucho más compleja para que se pueda utilizar como único parámetro de predicción, ya que debería reflejar distintos aspectos del proceso que se quiere analizar. Para demostrar esta complejidad se utilizó un modelo de regresión lineal simple utilizando los valores de los indicadores de la distribución de agregados producidos en la salpicadura y el escurrimiento (diámetro medio geométrico, DMG), empleados como variable dependiente y el contenido de arcilla y limo de los suelos del ensayo como variable independiente; el objetivo fue verificar si la calidad del material

producido por erosión estaba controlado por la textura del suelo. A continuación se muestran los resultados de las ecuaciones de predicción:

$$\text{DMG salpicadura} = 1,78 + (0,018\% \text{ Arcilla})$$

$$r^2 = 14\% \text{ IC } 0,21$$

$$\text{DMG escurrimiento} = 0,925 + (0,044\% \text{ Arcilla})$$

$$r^2 = 81\% \text{ IC } 0,10$$

$$\text{DMG salpicadura} = 3,47 + (-0,018\% \text{ Limo})$$

$$r^2 = 13,6\% \text{ IC } 0,21$$

$$\text{DMG escurrimiento} = 5,16 + (-0,045\% \text{ Limo})$$

$$r^2 = 80\% \text{ IC } 0,09$$

Se observa que el diámetro medio geométrico (DMG) del desprendimiento producido por salpicadura no puede ser predicho por el contenido de arcilla o limo de los suelos. Wan and El Swaify (1998) han comentado que esto podría ocurrir porque depende en mayor medida de la energía de la lluvia y no de las características del suelo.

Sin embargo, la situación no es la misma cuando analizamos el diámetro medio geométrico del escurrimiento, obteniéndose un ajuste elevado con el contenido de arcilla y limo de los suelos. A pesar de ello, la complejidad de las interrelaciones se pone de manifiesto otra vez en estos casos y el coeficiente de las ecuaciones es de signo positivo en el caso del contenido de arcilla y negativo para el contenido de limo.

La escasa relación entre la salpicadura y el contenido de limo y arcilla puede ser explicado por la energía involucrada en el impacto y desagregación de partículas durante la lluvia (Roth and Eggert, 1994), pero la relación de la arcilla y el limo con el escurrimiento no parece depender de una sola causa; este aspecto aparece poco claro y debería ser investigado en mayor detalle; probablemente exista alguna relación con la estabilidad y el tamaño de los agregados que permita discernir el sentido de estos efectos, como fuera observado por Valmis *et al.* (2005).

La evidencia de distintas interrelaciones entre parámetros demuestra la naturaleza compleja de los procesos erosivos y fortalece la necesidad de contar con modelos mejorados de predicción de erosión hídrica que incluyan parámetros con una rela-

ción más estrecha con los procesos erosivos, especialmente con la erodabilidad o la tasa de desprendimiento.

### CONCLUSIONES

Se observó la existencia de relaciones complejas entre parámetros del suelo y los procesos de desprendimiento por erosión hídrica que demuestran la escasa validez de los modelos de predicción que incluyan funciones relacionadas con la textura del suelo, el contenido de carbono orgánico o el diámetro

medio ponderado. Esta situación se supone que fue provocada por la presencia de fuertes interacciones de distinto signo provocadas por el uso de la tierra y la naturaleza de las interrelaciones entre los parámetros evaluados. La energía involucrada en el proceso de salpicadura parece ser uno de los más importantes modificadores de las relaciones entre parámetros, pero aun así subsisten interrogantes que demuestran que los modelos de predicción deberían incluir relaciones entre parámetros con una relación más cercana con los procesos evaluados, entre los que podría mencionarse la estabilidad de los agregados en agua.

### BIBLIOGRAFÍA

- BAJRACHARYA, R.M.; W.T. ELLIOT and R. LAL. 1992. Interrill erodibility of some Ohio soils based on field rainfall simulation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 267-272.
- BRONICK, C.J. and R. LAL. 2005. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in Northeastern Ohio, USA. *Soil and Tillage Research* 81:239-252.
- DAY, P.R. 1965 Particle fractionation and particle size analysis. Page 545-567. *In: Methods of soil analysis* C.A. BLACK, Ed. Agronomy N° 9, Part 1, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- GUÉRIF, J.; G. RICHARD; C. DURR; J.M. MACHET; S. RECOUS and J. ROGER-STRADE. 2001. A review of tillage effects on crop residue management, seedbed conditions and seedling establishment. *Soil and Tillage Research* 61:13-32.
- KEMPER, W.D. and R.C. ROSENAU. 1986. Aggregate stability and Size distribution Chapter 17: 425-443. *In: Methods of soil analysis Part I Physical and Mineralogical methods* Klute, Ed. Agronomy N° 9 (2<sup>nd</sup> edition), American Society of Agronomy, Madison, WI.
- LIEBENOW, A.M.; W.J. ELLIOT; J.M. LAFLÉN and K.D. KOHL. 1990. Interrill erodibility: Collection and analysis of data from cropland soils. *Trans, ASAE* 33:1882-1888.
- MAZURAK, A.P. 1950. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. *Soil Sci.* 69: 135-148.
- RIENZI, E. A. 1994. Influencia de los factores de agregación sobre los procesos de sellado y encostrado en un Argiudol típico. Tesis de Magister Scientiae. Escuela para Graduados, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- ROTH, C.H. and T. EGGERT. 1994. Mechanism of aggregate breakdown involved in surface sealing, runoff generation and sediment concentration on loess soils. *Soil and Tillage Research* 32: 253-268.
- SHARMA, P.P.; S.C. GUPTA and G.R. FOSTER. 1995. Raindrop induced soil detachment and sediment transport from Interrill areas. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 727-734.
- STEEL, R.G.D. and J.H. TORRIE. 1992. Bioestadística: Principios y procedimientos. 1ra. Edición en Español México, Ed McGraw y Hill. 622 pp.
- VALMIS, S; D. DIMOYIANNIS and N.G. DANALATOS. 2005. Assessing interrill erosion rate from soil aggregate instability index, rainfall intensity and slope angle on cultivated soils in central Greece. *Soil and Tillage Research* 80:139-147.
- VAN ALPHEN, B.J.; H.W.G. BOOLTINK and J. BOUMA. 2001. Combining pedotransfer functions with physical measurements to improve the estimation of soil hydraulic properties. *Geoderma* 103: 133-147.
- WALKLEY, C. and C.A. BLACK. 1965. Soil organic matter. *In: Methods of soil analysis* C.A. Black, Ed. Agronomy N° 9, Part 2, American Society of Agronomy, Madison, WI. 890 pp.

- WAN, Y. and S.A. EL-SWAIFY. 1998. Characterizing interrill sediment size by partitioning splash and wash processes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 430-437.
- WAN, Y.; S.A. EL-SWAIFY and R.A. SUTHERLAND. 1996. Partitioning interrill splash and wash dynamics: a novel laboratory approach. *Soil Technology* 9, 55-69.
- ZHANG, X.C.; M.A. NEARING; W.P. MILLER; L.D. NORTON and L.T. WEST. 1998. Modeling interrill sediment delivery. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62, 438-444.