

FACTORES DE ESCALA EN LA MEDIDA DE LA EROSION HIDRICA EN SUELOS INCENDIADOS DEL NW DE ESPAÑA

F. Díaz-Fierros, B. Soto, R. Pérez y E. Benito

Dpto. de Edafología y Química Agrícola Facultad de Farmacia. Univ. de Santiago.

RESUMEN

En un estudio paralelo con "pin-erosion" y determinaciones de pérdida de suelo en parcela de 4 × 20 m, en zona de monte afectada de incendio, se encuentra que el primer método da valores cinco veces superiores. La mayor proporción superficial de las zonas con erosión frente a las de pedósito, así como dificultades halladas en las medidas y perturbaciones en el flujo superficial, son consideradas como las causas principales de las diferencias encontradas.

Otro estudio en parcelas con suelo marcado magnéticamente, pone de manifiesto que en los mismos suelos de monte, con una superficie muy irregular y con obstáculos al flujo del agua, no existe relación entre los arrastres de suelo por erosión y la longitud de la pendiente. Se concluye sobre la necesidad de tener muy en cuenta la escala de las medidas de erosión para poder establecer valores comparativos entre los diferentes métodos.

Palabras clave: Erosión hídrica. Factor de escala. Normalización de métodos. Susceptibilidad magnética.

SUMMARY

INFLUENCE OF SCALE ON MEASUREMENTS OF HYDRIC EROSION IN POST - FIRE SOILS IN GALICIA (NW SPAIN)

In a study of post-fire woodland erosion, "pin erosion" values were found to be 5 times greater than parallel measurements of soil loss from 4 × 20 m plots. The discrepancy is attributed chiefly to the difference in surface area between erosion and deposition zones, and to perturbation of surface flow. A supplementary study of nearby plots with magnetically labelled soil showed that on very uneven hillsides with obstacles to water flow there is no simple relationship between slope length and erosional soil loss. It is concluded that the scale at which erosion measurements are obtained must be borne very much in mind in comparing different methods.

Key words: Water erosion. Scale. Standardization. Magnetic susceptibility.

Este trabajo se ha realizado con la financiación de la CEE (contrato EV4V-0104 de la DG XII).

INTRODUCCION

Para la medida de la erosión hídrica del suelo existen una amplia variedad de métodos adaptados, en general, a diferentes escalas espaciales y que cubren tanto las determinaciones puntuales de la erosión como las pérdidas de suelo que afectan a las cuencas fluviales (Lal, 1988). Idealmente las investigaciones sobre erosión del suelo deberían abarcar las diferentes escalas de estudio ya que en muchos aspectos la información obtenida de las mismas no es equivalente, aunque puede resultar siempre complementaria.

Se presenta, de todas formas, el problema metodológico de que no suele existir una buena correspondencia entre los resultados derivados de métodos aplicados y adaptados para diferentes escalas. En general, se podría afirmar que los métodos concebidos para estudios de mayor detalle suelen dar valores más altos que aquellos preparados para medidas en grandes parcelas o cuencas. Sobre todo, en el caso de los "pin-erosión", método propuesto por Schum (1967) y ampliamente utilizado para determinaciones puntuales de la erosión (Haigh, 1977) son notables las discrepancias que pueden existir con otros métodos adaptados y estudios sobre grandes áreas. Y así, Khanbilvardi (1983) en un estudio simultáneo con "pin-erosión" y parcelas de 3 x 9 m, encuentra que los primeros dan valores de 10 a 14

veces superiores a los determinados en parcelas. De la experiencia que existe en Galicia sobre medidas de la erosión del suelo en zonas afectadas por incendios forestales, se deduce que la discrepancia entre las medidas microtopográficas y de parcelas es también grande (Díaz-Fierros *et al.*, 1982, Díaz-Fierros y P. Moreira, 1982, 1984, Vega *et al.*, 1983).

Otro factor de escala a tener en cuenta en las medidas de erosión, es la influencia de la longitud de la pendiente, que de acuerdo con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo de Wischmeier *et al.* (1965) es proporcional a las pérdidas de suelo hasta un límite que oscila de 20 a 30 m (Rose, 1988). En consecuencia, todas las medidas en parcelas deberían de superar esos límites en su longitud para evitar la dependencia de los valores del tamaño de la misma.

Aunque pueden existir otros problemas de medidas de erosión derivados de la escala de medida, los enumerados parecen suficientes, sin embargo, para justificar una mayor dedicación a estos problemas.

En este trabajo, se pretende iniciar el estudio de los problemas de escala en las medidas de erosión de suelos afectados por los incendios forestales en Galicia, y que son posiblemente, las únicas áreas de la zona húmeda española donde la erosión puede presentar valores significativos (Díaz-Fierros *et al.*, 1987).

MATERIAL Y METODOS

Los suelos estudiados pertenecen a una parcela experimental situada

en el Monte Pedroso (Santiago de Compostela) en una zona orientada

Por otra parte, en dos de las subparcelas se instalaron "pin-erosion" dispuestos en T realizándose medidas micrométricas aproximadamente en los mismos episodios en los que se efectuó la recogida de sedimento para determinación de la erosión. En la subparcela que sufrió la quema incontrolada en 1989, se dispusieron líneas perpendiculares a la pendiente cada metro. Sobre ellas y cada 0.20 m se realizó una evaluación del estado de erosión-sedimentación de la superficie del suelo. En el caso de que se manifestase erosión, se constataba simplemente esta situación, mientras que en el caso de la sedimentación, se determinaba la profundidad del depósito. En total se analizaron 380 puntos. Tomando como punto de referencia las bandas anteriormente mencionadas se realizó un estudio aproximado de la rugosimetría de la parcela, encontrándose que el 90% de los puntos medidos presenta una desviación respecto al nivel medio de + 6.44 cm y desviaciones máximas absolutas de + 7.6 cm y -5.4 cm.

Finalmente, y sobre la parcela anterior se realizó un estudio con trazador magnético de los arrastres de suelo en el período de Febrero a Julio de 1990. Para ello se utilizó la medida de la susceptibilidad magnética directamente en el campo con el "Bartington Model M. S. 2, Magnetic Susceptibility Meter" y la

sonda "M. S. 2. F". Como trazador se empleó un horizonte A de un cambisol crómico (FAO-UNESCO, 1974) que fue calentado a 1200 °C durante dos horas. El valor medio de X para el trazador en el laboratorio con la sonda M. S. 2. B fué de $4640 \cdot 10^{-6}$ (c.g.s). Se estudió la constancia de estos valores frente al tiempo así como los cambios de humedad y de temperatura, observándose que salvo el último factor que con temperaturas de 40 °C presentaba incrementos del 5-10%, frente a los demás no presentaba prácticamente variación. Con dicho material se trazaron líneas de 0.05 m de ancho y 4 m de longitud, perpendiculares a la pendiente y situadas a 4, 8, 12 y 16 metros del límite inferior de la parcela. Los valores iniciales de las bandas oscilaron de 640 a $907 \cdot 10^{-6}$, siendo el valor medio de la susceptibilidad medida en el suelo de $100.25 \cdot 10^{-6}$. Las determinaciones se realizaron en bandas separadas entre sí 1 m, y a 0.25 y 0.50 m por debajo de las bandas donde se depositó el trazador. Se realizaron 20 medidas en cada banda utilizándose el valor medio de la misma. El CV medio de las determinaciones fue del 15.6%. Las determinaciones se realizaron a 2 y 5 meses, siendo el material erosionado y la erosividad del clima en dicho período el indicado en la Tabla 2.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 3 se presentan los valores medios y desviaciones standard de la erosión medida mediante los "pin-erosion" a lo largo del período de estudio, correspondiendo cada

uno de los datos a la media de siete puntos de medida.

De la comparación entre los datos de erosión medidos en las parcelas mediante el método de los "pin-ero-

al oeste, con 30% de pendientes y una altitud de 350 m (Díaz-Fierros, *et al.*, 1990). El suelo es un cambisol húmico (FAO-UNESCO, 1974) inicialmente cubierto con una vegetación de *Ulex europaeus* y con un microrrelieve muy acentuado, como es habitual en los terrenos dedicados a monte. En la parcela se limitaron con bandas de hierro galvanizado seis subparcelas de 4 x 20 m con dos dispositivos cada una en la parte inferior para la recogida de sedimentos. Cuatro de las subparcelas se sometieron por duplicado, en Septiembre de 1988, a una quema controlada en condiciones favorecedoras de la intensidad del fuego (Quema 1) y otra en condiciones más limitantes (Quema 2) (Díaz-Fierros, *et al.*, 1990), quedando las otras dos subparcelas como testigos, una de las cuales sufrió una quema incontrolada en el año 1989.

Durante el período de estudio (1988-1990) se realizó la medida sistemática del material perdido por erosión en las diferentes parcelas,

así como una evaluación de la erosividad climática mediante la determinación del índice $EI_{(30)}$ de Wischmeier (1959) a partir de los datos pluviométricos de una estación meteorológica anexa (Tabla 1). Dicho índice de erosividad se expresa como el producto de la energía cinética de la lluvia por su intensidad máxima en 30 minutos y dividido por 100. La energía de una lluvia se obtiene descomponiendo la lluvia en pluviofases de intensidad constante, obtenidas a partir del registro pluviométrico de una estación automática. La energía de una pluviofase es función de la intensidad de la lluvia y se expresa por la fórmula:

$$E = 210 + 89 \lg I$$

Para obtener la erosividad de la pluviofase, la E debe multiplicarse por la cantidad de lluvia en cm de la pluviofase. La erosividad de una lluvia será, por tanto, la suma de la energía de n pluviofases, pudiendo expresarse mediante la fórmula:

$$EI_{(30)} = 10^{-2} (210 + 89 \lg I) h \cdot I_{\max} 30'$$

TABLA 1

Datos de erosividad (índice EI30 de Wischmeier) y pérdidas de sedimentos en las subparcelas sometidas a la Quema 1 (condiciones favorecedoras de la intensidad del fuego) y 2 (condiciones más limitantes) en los períodos señalados.

EROSION (t ha ⁻¹)	De 12/IX/88 a 17/I/89	De 17/I/89 a 31/III/89	De 31/III/89 a 5/VII/89	De 5/VII/89 a 22/XII/89	De 22/XII/89 a 22/VI/90
Control	0.177	0.033	0.262	1.288	0.317
Quema 1	0.306	0.069	1.76	2.35	0.09
Quema 2	0.186	0.086	1.838	3.80	0.072
EROSIVIDAD EI30 t m ha ⁻¹ cm h ⁻¹	79.4	101.37	109.50	289.53	93.33

TABLA 2

Datos de erosividad (índice EI30 de Wischmeier) y pérdidas de sedimentos en la sub-parcela de quema incontrolada en los períodos señalados.

EROSION (t ha ⁻¹)	De 12/IX/89 a 30/XI/89	De 30/XI/89 a 22/XII/89	De 22/XII/89 a 3/IV/90	De 3/IV/90 a 22/VI/90
Q. incontrolada	1.68	7.55	2.74	0.74
EROSIVIDAD EI30 t ha ⁻¹ cm h ⁻¹	87.77	201.76	80.57	121.763

sión" y las pérdidas de sedimento (Fig. 1) se deduce que existe una cierta correspondencia en la evolución relativa de sus valores acumulados a lo largo del período de estudio, que se refleja en la coincidencia de los tres grandes episodios en que se puede dividir (de baja intensidad de erosión de Septiembre de 1988 a Marzo de 1989 y de Enero de 1990 a Julio de 1990 y de una intensidad moderada de Marzo de 1989 a Enero de 1990, excluyendo en este último episodio los meses de Junio a Septiembre). Sin embargo, en cuanto a los valores absolutos existe una

gran diferencia, ya que el método microtopográfico da valores aproximadamente cinco veces superiores a las medidas por pérdida de material.

Estas diferencias, explicables inicialmente por problemas de hidrodinámica en torno al pin-erosion (Haigh, 1977) podrían también deberse a la menor eficacia que presentan estos dispositivos para medir las subidas del nivel del suelo por acumulación de sedimentos, frente a la medida de las pérdidas por descensos del nivel. La anilla de la que normalmente van provistos estos dispositivos y que idealmente debería subir o

TABLA 3

Valores medios y desviaciones estándar de la erosión medida mediante los "pin-erosion" en los períodos señalados (t ha⁻¹).

Días después del incendio	Quema 1		Quema 2	
	\bar{x}	Desv. Estánd.	\bar{x}	Desv. Estánd.
100	2.36	3.27	4.07	2.87
180	2.87	2.88	2.18	5.35
235	14.27	15.50	11.53	13.33
400	7.54	6.63	6.98	6.10
455	1.07	4.56	2.52	4.17
555	3.17	2.47	0.26	3.57

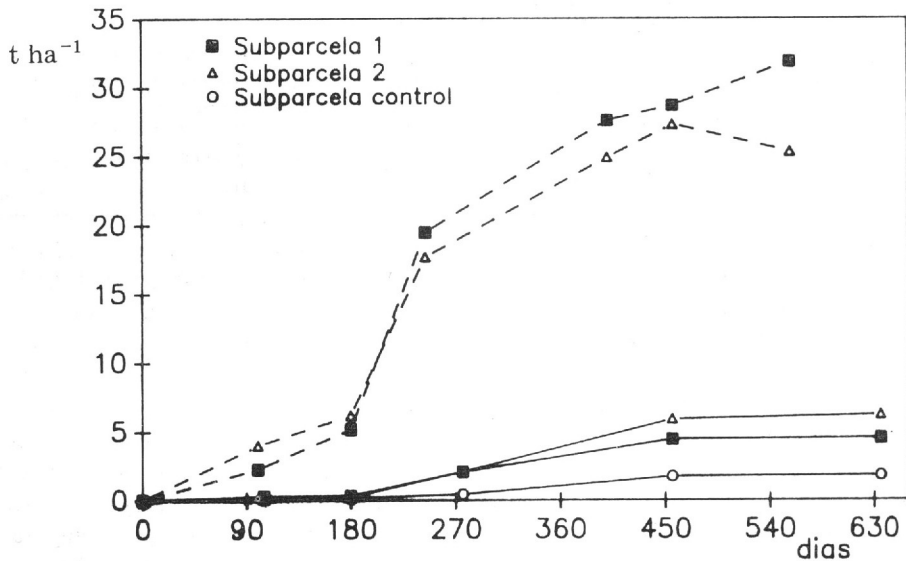


FIG. 1.—Comparación de la erosión medida mediante pin-erosion (----) y pérdidas de sedimento (—).

5	2	e	4	e	1	1	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	1	e	e	e
e	e	9	e	e	e	e	1	2	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	9	e
e	1	e	e	e	10	1	2	e	e	e	1	1	e	2	1	e	e	1	2	
5	e	e	e	e	e	e	e	2	e	e	e	e	e	e	e	e	2	1	e	1
e	1	e	e	e	e	e	e	1	e	1	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
e	e	e	e	e	10	3	1	e	e	1	e	e	e	e	e	e	e	e	e	2
e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	1	e	e	e	1	e	e	1
e	1	e	e	e	6	e	2	e	e	1	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
e	e	e	1	e	e	e	e	6	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
e	e	e	e	e	e	1	e	3	e	1	e	2	e	e	e	e	e	e	e	1
e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	1	1	e	1	2	e	1	1	e	e	
e	e	e	e	1	e	e	e	e	3	5	e	2	e	e	e	e	e	e	e	e
e	e	e	10	e	e	e	1	2	6	5	e	e	e	e	e	e	e	e	e	1
e	e	e	2	e	e	e	1	1	e	e	e	4	e	1	1	5	e	1	3	
e	e	2	3	e	e	2	e	e	e	3	e	2	1	e	e	e	6	e	e	
e	e	4	5	2	e	4	e	1	e	e	e	e	1	e	e	e	3	1	e	
e	e	e	e	2	e	e	e	e	9	2	4	5	e	e	e	e	e	e	e	e
e	e	e	e	e	e	e	e	3	e	3	2	2	2	e	3	e	e	e	e	2
4	e	e	4	5	e	e	e	e	e	5	e	2	e	e	e	e	e	e	e	e

Bajo ————— 20 m. ————— Alto

FIG. 2.—Distribución de zonas de erosión (e) y sedimentación (dígito según la profundidad del depósito en mm) en la subparcela de quema incontrolada.

bajar solidaria con los cambios de nivel del suelo, en los casos de pequeñas acumulaciones, prácticamente no es sensible a las mismas. Por esta razón, en una de las subparcelas se realizó un estudio planimétrico de los puntos que morfológicamente presentaban erosión o sedimentación. Los resultados se representan esquemáticamente en la figura 2. De ella se deduce que el porcentaje de puntos con sedimentación es del 27.6%, y teniendo en cuenta que el espesor medio de los sedimentos en ellos es de 2.6 mm se puede deducir que el valor de los sedimentos acumulados es de $7.2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Supuesta una densidad aparente de 0.6 g cm^{-3} para el material perdido, el peso del suelo que se erosionó pero que después se depositó en la parcela es prácticamente equivalente al valor de la erosión neta recogida en los depósitos dispuestos al final de la parcela. Del material sedimentado en la parcela más de la mitad tiene un espesor igual o inferior a 4 mm, que es donde se estima, a partir de la experiencia derivada de este trabajo, que se encuentra el límite de detección de la sedimentación en los "pin-erosion", y que por lo tanto no sería contabilizado como tal.

Por otra parte, se intentó determinar en que medida el efecto longitudud de la pendiente de la USLE podía reconocerse en suelos como los estudiados, con un fuerte microrrelieve, de contornos irregulares y complejos, con diferencias de cotas medias de 0.3 a 0.4 m y donde los restos de vegetación quemada (truncos de *Ulex* sobre todo) presentaban obstáculos evidentes a un flujo regular del agua por la pendiente. Para ello se empleó la medida del magnetismo

inducido en un suelo dispuesto en bandas a 4, 8, 12 y 16 metros del límite inferior de la parcela. La pérdida de actividad magnética de las bandas debería relacionarse con los arrastres de partículas marcadas, representándose su evolución a los 2 y 5 meses en la figura 3. En ella se aprecia que la banda superior presentaba una mayor actividad inicial, como posible consecuencia de una cierta irregularidad en la colocación de las bandas, pero que pronto se estabiliza en unos valores inferiores. Esta diferencia no se interpreta como significativa ya que, al permanecer los troncos de la vegetación quemada la interceptación de la lluvia(*) y la irregularidad que en ella generan, podría ser simplemente la causa de esta pequeña diferencia entre los valores a 4 y 8 metros y los de 12 y 16 m.

Esta pérdida de actividad magnética de las bandas con el tiempo, podría deberse también al efecto de salpicadura ("splash"), sin que se llegase a presentar arrastres de material magnético en superficie. Para confirmar que se da el proceso de arrastre, se presentan también los resultados de las medidas en las bandas a 0.25 y 0.50 m pendiente abajo de la zona donde se situó inicialmente el trazador (Fig. 4). Como se puede observar en esta figura, la forma de las líneas que unen los valores de X a diferentes distancias y a 2 y 5 meses, refleja claramente un transporte de partículas en superficie. Incluso en la comparación

(*) Sus valores estimados, por comparación visual con el estado de la vegetación en las restantes parcelas donde fué medida la interceptación, son del orden de 10-15% de la precipitación total.

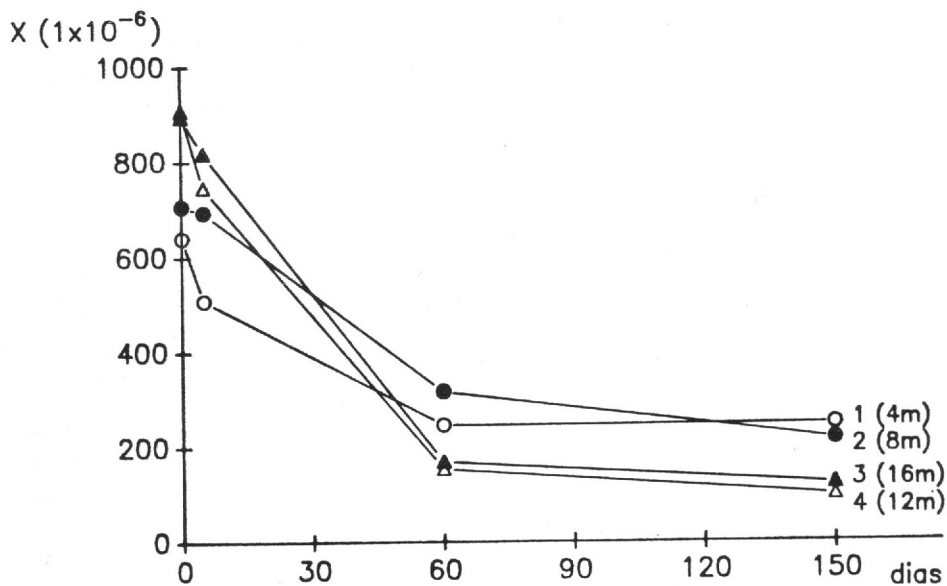


FIG. 3.—Pérdida de actividad magnética de las bandas con trazador magnético a los 2 y 5 meses (valores medios de 20 puntos de medida).

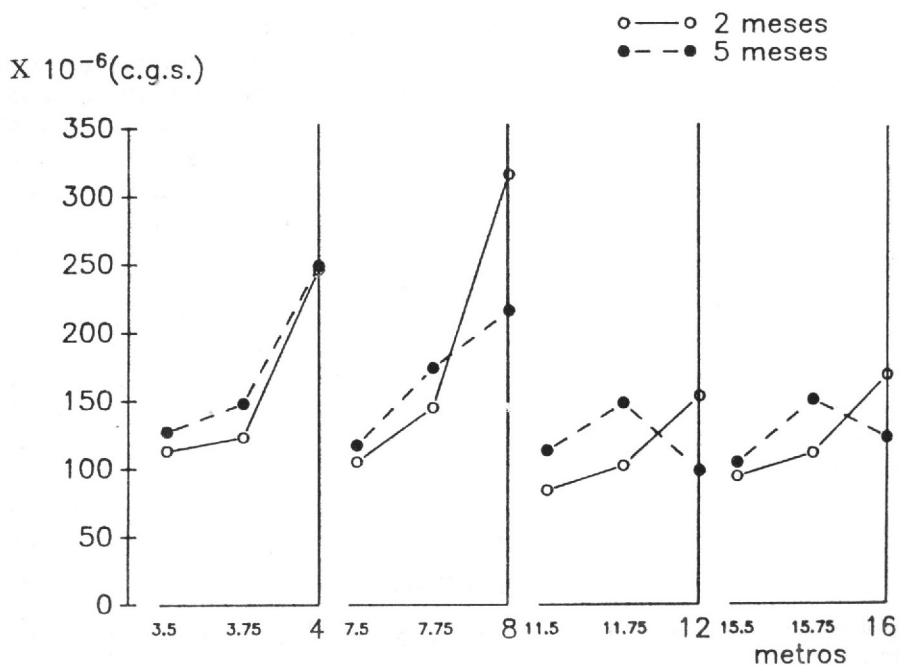


FIG. 4.—Evolución de la susceptibilidad magnética en las zonas situadas a 0.25 y 0.5 m de las bandas con trazador magnético a los 2 y 5 meses (valores medios de 20 puntos de medida).

de las distintas bandas, se puede apreciar como este arrastre es más intenso en las bandas superiores, hecho al que no se le da la mayor

trascendencia por considerar, como ya se señaló, que es sólo consecuencia de diferencias en la interceptación de la lluvia.

CONCLUSIONES

De la comparación entre las medidas de erosión con pin-erosion y mediante parcelas de 4 x 20 m similares a los modelos standard USDA (Mutchler *et al.*, 1988) se deduce la sobrestimación de los valores determinados por el método microtopográfico. Las causas de estas diferencias podrían estar en alteraciones de la hidrodinámica del flujo superficial del agua, pero también podrían añadirse dificultades en la evaluación de la microsedimentación, e incluso en problemas de diseño de la instalación de los pin-erosion, dado que existiría siempre una tendencia a situar proporcionalmente mayor número en zonas erosivas que en las de sedimentación, ya que, como se pudo demostrar, son siempre aquellas más abundantes superficialmente.

Más importante, de todas formas, es el hecho constatado en suelos como los estudiados, de que no se manifiesta la influencia del factor longitud de pendiente sobre la erosión. La razón podría estar en la existencia de un microrrelieve

irregular y de obstáculos como son piedras o troncos quemados, que interrumpen el flujo superficial e impiden el incremento de su velocidad con la longitud de pendiente. De hecho, observaciones visuales en momentos de arroyada, muestran que la formación de cursos de agua presenta siempre un carácter errático y desigual y en general de muy escasa magnitud. Algo similar ocurría con el flujo laminar.

En conclusión, estos problemas de escala (así como otros no considerados) señalan la importancia que pueden llegar a tener estas relaciones para una medida correcta de la erosión, sobre todo en la situación actual, donde a pesar de la proliferación de estas determinaciones no existe todavía una normalización de los métodos, realizándose estas medidas no sólo con una gran disparidad de escalas sino, sobre todo, con un casi total desconocimiento de la influencia que estos factores podrían tener en los resultados finales.

BIBLIOGRAFIA

- DIAZ-FIERROS, F., GIL SOTRES, F., CABANEIRO, A., CARBALLAS, T., LEIROS DE LA PEÑA, M. C. y VILLAR CELORIO, M. C., 1982. Efectos erosivos de los incendios forestales en suelos de Galicia. An. Edafol. Agrobiol., 41: 627-639.
- DIAZ-FIERROS, F. y PEREZ MOREIRA, R., 1982. Nuevos datos sobre la influencia de los incendios forestales en la erosión del suelo en Galicia. Bol. Avriense: 129-140.

- DIAZ-FIERROS, F. y PEREZ MOREIRA, R., 1984. Valoración de los diferentes métodos empleados en Galicia para la medida de la erosión de los suelos con especial referencia a los suelos afectados por incendios forestales. Cuad. Invest. Geográfica, 10: 29-41.
- DIAZ-FIERROS, F., BENITO, E. and PEREZ, R., 1987. Evaluation of the U. S. L. E. for the prediction of erosion in burnt forest areas in Galicia (NW Spain). Catena, 14: 189-199.
- DIAZ-FIERROS, F., BENITO, E., VEGA, J. A., CASTELAO, A., SOTO, B., PEREZ, R. y TABOADA, T., 1990. Solute loss and soil erosion in burnt soil from Galicia (NW Spain). In: Fire in Ecosystem Dynamics J. G. Goldammer and M. J. Jenkins (Eds.). 105-118. SPB Academic Publishing. The Netherlands.
- FAO-UNESCO, 1974. Soil Map of the World 1:5,000,000. UNESCO. Roma-Paris.
- HAIGH, M. J., 1977. The use of erosion pins in the study of slope evolution. British Geom. Group. Tech. Bull., 18: 31-49.
- KHANBILVARDI, R. M. and ROGOWSKI, A. S., 1987. Infiltration and runoff simulation in an erosion model. In: Infiltration development and application. (Ed. Yu-Si Fok): 429-443. Water Resources Research Center. Manoa Hawaii.
- LAL, R., 1988. Soil erosion by wind and water: Problems and prospects. In: Soil erosion research methods. (Ed. R. Lal): 1-6. Soil and Water Conservation Society. Iowa.
- MUTCHLER, C. K., MURPHREE, C. E. and MCGREGOR, K. C., 1988. Laboratory and fields plots for soil erosion studies. In: Soil erosion research methods, (Ed. R. Lal): 9-36. Soil and Water Conservation Society. Iowa.
- ROSE, C. W., 1988. Research progress on soil erosion processes and a basis for soil conservation practices. In: Soil erosion research methods. (Ed. R. Lal): 119-139. Soil and Water Conservation Society. Iowa.
- SCHUM, S. A., 1967. Erosion measured by stakes. Rev. Geomorph. Dynam., 17: 161-162.
- VEGA, J. A., BARA, S., VILLANUEVA, J. A. y ALONSO, M., 1983. Erosión después de un incendio forestal. Memoria interna del Departamento Forestal de Zonas Húmedas de Lourizán. CRIDA 01. I. N. I. A.
- WISCHMEIER, W. H., 1959. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23: 246-249.
- WISCHMEIER, W. H. and SMITH, D. D., 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. United States Dept. Agric. A. R. S. Agric. Handbook 282.

*Recibido de la Comisión: 21-5-91.
Aceptado para publicación: 10-10-91.*