

PROCESOS DE EROSIÓN: NECESIDADES DE INFORMACIÓN DE SUELOS PARA SU CUANTIFICACIÓN Y CONTROL

Francisco DÍAZ-FIERROS VIQUEIRA y Benedicto SOTO GONZÁLEZ

**Dep.de Edafología e Química Agrícola.
Fac. de Farmacia. Univ. de Santiago. 15706. Santiago.**

Abstract: The first models used for the prediction of soil erosion are reviewed, emphasizing the main features of the erodibility indexes employed at this stage. Since the USLE arose, the K factor is presented as the key parameter reflecting the influence of the soil on the erosion processes; then the importance of the components and properties involved in its calculation is discussed. The new erosion models appeared from the eighties are presented, and a comparative study of the soil information in the WEPP and the EUROSEM is performed. The conclusion is that these models are still far from reaching their validation through the field data, so it is necessary to make an important experimental effort in this sense.

Key words: Soil erosion, erodibility, K factor, USLE, erosion models.

Resumen: Se realiza una revisión de los primeros modelos utilizados para la predicción de la erosión de los suelos, destacando de esta época las características principales de los índices de erosionabilidad empleados. A partir de la aparición de la USLE, el factor K se presenta como el parámetro fundamental que refleja la influencia del suelo en los procesos erosivos, discutiéndose la importancia de los componentes y propiedades que intervienen en su cálculo. Se presentan los nuevos modelos de erosión surgidos a partir de la década de los ochenta y se realiza un estudio comparativo de la información de suelos que aparece en los modelos WEPP y EUROSEM. Se concluye que estos modelos todavía se encuentran lejos de alcanzar su validación por los datos de campo por lo que se precisa realizar un importante esfuerzo experimental en este sentido.

Palabras clave: Erosión de suelo, erosionabilidad, factor K, EUPS, modelos de erosión.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Hudson (1982), el primer estudio sobre los efectos de la erosión fue realizado por el edafólogo alemán Wollny a finales del pasado siglo; sin embargo los primeros experimentos cuantitativos no comenzaron a realizarse hasta el año 1915 por el Forest

Service americano. Pero fue sobre todo el período posterior a 1920, en el que la intensificación del cultivo cerealista y una situación climatológica adversa que dio origen a episodios erosivos catastróficos, lo que motivó un incremento de la sensibilidad frente a este problema, creándose el Servicio de Conservación de Suelos en EEUU e iniciándose un amplio programa

de ensayos y experiencias sobre los factores de la erosión, surgiendo las primeras funciones que trataban de describir los procesos erosivos. Una de las primeras fue la propuesta por Zingg (1940):

$$A = C S^m L^{-1}$$

donde sólo aparecían como factores, el grado de pendiente (S) y la longitud de la pendiente (L). Posteriormente, Musgrave (1947) propone una nueva función:

$$E = 0.00527 I R S^{1.35} L^{0.35} P_{30}^{-1.75}$$

en la que I ya representa la "erosionabilidad inherente" del suelo.

Anteriormente, otros autores habían intentado evaluar de una forma parcial la mayor o menor susceptibilidad de los suelos a la erosión mediante índices o relaciones desarrolladas a partir de componentes o propiedades del suelo, siendo definida esta propiedad como "soil erosivity" por Middleton (1930) o "soil erodibility" por Cook (1936), proponiéndose como su traducción al castellano la de "erosionabilidad" (Sanroque *et al.*, 1984). De los primeros índices de erosionabilidad propuestos se pueden citar:

- 1) la relación sílice/sesquióxidos de Bennet (1926)
- 2) la relación de dispersión de Middleton (1930)
- 3) el índice de dispersión-permeabilidad de Baver (1933)
- 4) la relación de arcilla de Bouyoucos (1935).

En ellos se tenían en cuenta sobre todo la composición mecánica del suelo o algún test sencillo de dispersión de las fracciones finas. Posteriormente, se desarrollaron otros procedimientos técnicamente más complejos, como fueron los métodos de medida de la estabilidad de los agregados al agua (por ej. Henin *et al.*, 1958 o De Leenher y De Boot, 1959) y los simuladores de lluvia (Ellison, 1947; Bryan, 1968).

Únicamente, el índice de dispersión-per-

meabilidad de Baver (1933) introducía ya como dato adicional la permeabilidad del suelo, propiedad que posteriormente habría de ser muy utilizada en los estudios sobre la predicción de la erosión.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

Más de 8000 parcelas/año de estudios de erosión en 36 localizaciones diferentes sirvieron para que en un esfuerzo de investigación cooperativa sin precedentes se llegara a la propuesta de una fórmula empírica que agrupaba los principales factores que afectaban a la erosión de los suelos norteamericanos (Smith y Wischmeier, 1957; Wischmeier y Smith, 1958; Wischmeier *et al.*, 1958). Había surgido la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS o USLE en su acrónimo inglés), instrumento básico de la predicción de la erosión de los suelos (y no solo americanos) para las siguientes tres décadas. En ella el factor K , "soil erodibility", representaba la influencia del tipo de suelo sobre la erosión a partir de medidas de la relación:

$$K = A / R$$

en parcelas de 72.6 pies de longitud y pendiente del 9% (para que el término $LS = 1$) en condiciones de barbecho, siendo A la pérdida de suelo promedio de varios años y R la erosionabilidad climática (Olson y Wischmeier, 1963). Posteriormente Wischmeier *et al.* (1971) proponen una función para determinar el valor del K a partir de componentes y propiedades del suelo:

$$100K = 2.1 \times 10^4 (12-OM) M^{1.14} + 3.25(S-2) + 2.5(P-3)$$

donde OM es el contenido de materia orgánica, M es el contenido en limo y arena muy fina, S el tipo de estructura y P la clase de permeabilidad. La primera parte de la fórmula, que contiene las relaciones de la materia orgánica y la textura, es la más importante ya que se le atribuye la justificación de más del 80 % del resultado

final, quedando el resto de la fórmula como un refinamiento que no siempre se utiliza.

La forma habitual de trabajo con el factor K es a partir del cálculo previo para las diferentes unidades taxonómicas de suelos definidas en los distintos países. Para España existe una tabla de los valores de K (tabla 1) para las unidades de suelos del Mapa de Suelos de España 1:1.000.000 del CSIC (1968)(Mintegui, 1984), así como una relación de valores para los principales tipos de suelos del área mediterránea (Sanroque *et al.*, 1990) y un mapa de este mismo factor (fig 1) elaborado a partir de los datos de campo utilizados en las diferentes reuniones realizadas por la

Sociedad Española de Ciencia del Suelo (Díaz-Fierros y Benito, 1996).

A pesar de ser el modelo más utilizado para la estimación de la erosión, a partir de la década de los ochenta comenzaron a plantearse críticas sobre la exactitud de sus predicciones así como de su falta de planteamientos teóricos, sobre todo cuando estas se alejaban de los suelos americanos que sirvieron para su elaboración o se aplicaban a los de otros usos diferentes del agrícola (Risse *et al.*, 1993). De ahí que se haya planteado una revisión en profundidad de la misma, conocida como la RUSLE (Renard *et al.*, 1991).

Tabla 1. Valores del factor K de la USLE para las diferentes unidades del Mapa de Suelos de España 1:1.000.000 del CSIC, 1968 (Mintegui, 1984).

| | | |
|------------|---|------|
| Tipo I.- | Suelos aluviales, coluviales, etc | 0,40 |
| | Arenales y dunas | 0.28 |
| Tipo II.- | Suelos rendziniiformes: sobre margas calizas | 0.19 |
| | " yesíferas | 0.31 |
| | " triásicas | 0.31 |
| | Suelos rendziniiformes: sobre materiales consolidados . | 0.29 |
| | Suelos grises subdesérticos | 0.25 |
| | Ranker húmedo | 0.15 |
| | Xeroranker | 0.35 |
| Tipo III.- | Tierra parda húmeda | 0.20 |
| | Tierra parda meridional sobre roca metamórfica | 0.32 |
| | Tierra parda meridional sobre roca ígnea | 0.30 |
| | Suelos pardos sobre depósitos alóctonos | 0.25 |
| | Tierra parda caliza | 0.20 |
| | Suelo pardo calizo forestal | 0.13 |
| | Suelo pardo calizo sobre material no consolidado | 0.28 |
| | Suelo pardo calizo sobre material consolidado | 0.14 |
| | Suelo pardo calizo con costra caliza | 0.43 |
| Tipo IV.- | Suelo rojo mediterráneo sobre material silíceo | 0.23 |
| | Suelo rojo mediterráneo sobre material calizo | 0.32 |
| | Suelos pardos no calizos | 0.30 |
| | Tierra fusca | 0.23 |
| Tipo V.- | Vertisuelos topomorfos | 0.25 |
| | Vertisuelos litomorfos | 0.30 |
| Tipo VI.- | Turberas | 0.05 |
| Tipo VII.- | Suelos podsolizados | 0.20 |

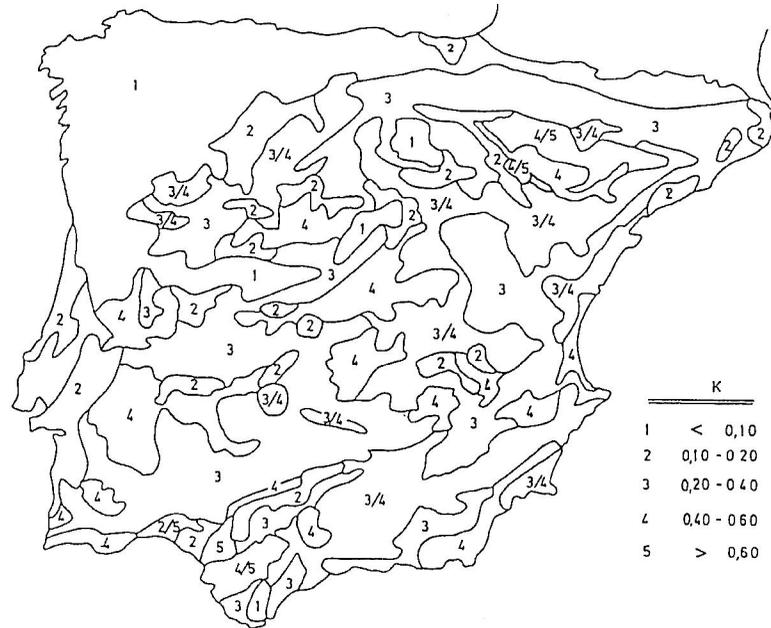


Figura 1. Clases de erosionabilidad de las unidades FAO (1985) de los suelos españoles (factor K de la USLE).

En la RUSLE, el factor K se redefine conceptualmente y posteriormente se completa y mejora su determinación. Como concepto se aclara que el factor no representa sólo la susceptibilidad del suelo a la erosión, sino que también incluye la cantidad e intensidad de la escorrentía superficial, ya que por ej. los suelos arcillosos pueden presentar valores bajos (de 0.05 a 0.15) porque son resistentes a la liberación de sus partículas, mientras que los arenosos pueden adoptar valores parecidos porque a pesar de ser fácilmente liberadas sus partículas, su permeabilidad es muy alta lo que reduce la escorrentía y por consiguiente la pérdida de suelo.

Para el cálculo del factor K se incluyen además de los parámetros del contenido en materia orgánica, textura, permeabilidad y estructura, la fracción de partículas mayores de 2 mm constitutivas del perfil y las capas de permeabilidad limitada. Asimismo, establece una variación temporal de K en función de datos climáticos.

Los nuevos modelos predictivos de la erosión.

A pesar de la falta de fundamento teórico de la USLE, su uso se mantuvo prácticamente sin otro tipo de alternativas hasta nuestros días como consecuencia de su sencillez y de su relativo éxito en la predicción de la erosión a escalas de tiempo amplias (por ej. anuales o estacionales). La necesidad de ajustar el modelo predictivo al conocimiento que se iba alcanzando, así como su incapacidad para adaptarse a escalas más cortas de tiempo o de distinguir diferentes tipos de procesos (por ej. la erosión lineal o en regueros de la laminar) obligó a desarrollar nuevas alternativas a la USLE. Los modelos más conocidos presentados últimamente son, en América, el KYERMO (Hirschi y Barfield, 1988), WEPP (Nearing *et al.* 1989) y KYNEROS (Woolhiser *et al.*, 1990) y en Europa, el EUROSEM (Morgan *et al.*, 1992) y el MEDALUS (Thornes *et al.*, 1996). Todos ellos parten de los fundamentos teóricos desa-

rollados por Meyer y Wischmeier (1969) y Foster y Meyer (1975) en los que la erosión se define conceptualmente a partir de un modelo de balance de masa en el que las capacidades de transporte y liberación son los parámetros fundamentales que se aplican a los diferentes tipos de erosión: salpicadura, regueros y laminar. Los datos de suelo que se precisan para estos modelos son mucho más amplios que para la USLE, pudiendo agruparse en datos de: a) hidrología de suelos, b) superficie del suelo y c) el suelo en sí; como ejemplo de los mismos se considerará un modelo americano, el WEPP, y otro europeo, el EUROSEM.

Respecto a la hidrología de suelos, el parámetro fundamental es la conductividad hidráulica y sus relaciones con la porosidad y el contenido en agua. En el EUROSEM se profundiza algo más en sus componentes teóricos (saturación máxima, tensión capilar, curva de recesión de la infiltración, etc.) mientras que en el WEPP se desarrolla mucho más la casuística de los diferentes parámetros que influyen en la conductividad hidráulica (vegetación, laboreo, clima, etc.).

Como parámetros de la superficie del suelo, son fundamentales para el EUROSEM la rugosidad y el coeficiente de Manning, mientras que para el WEPP lo son los de rugosidad y los coeficientes de fricción, distinguiendo el caso de la erosión en regueros de la laminar. En ambos casos la densidad de regueros o el flujo concentrado se introduce como dato. Finalmente, el EUROSEM incorpora también como dato a la pedregosidad y el WEPP la variación estacional de los coeficientes de fricción y la altura de los caballones.

En relación con las propiedades de suelos más específicas habría que citar, sobre todo la erosionabilidad, definida a partir de la capacidad de liberación de partículas del suelo por los diferentes agentes erosivos, que en el EUROSEM es un parámetro único, mientras que para el WEPP se distinguen los casos de la erosión en regueros de la laminar. Como datos complementarios se precisan en el EUROSEM

la cohesión medida por la resistencia al corte, el tamaño medio de partículas y el coeficiente de Manning derivado a partir de la fórmula de Stickler y en el WEPP la tensión crítica al corte, la porosidad, la capacidad de intercambio catiónico y la densidad aparente. Un resumen de estas fuentes de información para ambos modelos se presenta en la tabla 2.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De los diferentes tipos de datos de suelos útiles para la predicción de la erosión analizados anteriormente, se pueden establecer dos categorías: a) componentes del suelo empleados en las fórmulas y métodos más sencillos y b) propiedades utilizadas sobre todo por los nuevos modelos y que se pueden agrupar en i) de hidrología de suelos, ii) de la superficie del suelo y iii) del suelo en sí.

De los componentes del suelo el más importante sin duda, es la textura, sobre todo en suelos de zonas áridas o semiáridas donde la materia orgánica es escasa. Su influencia sobre la erosión, como ya se vió, en el caso del factor K de la USLE es doble, actuando tanto como factor de estabilización de los agregados como sobre la permeabilidad del suelo. Es una forma rápida, y en muchos casos de suficiente garantía, para conocer la influencia del suelo sobre la erosión y que por otro lado tiene una forma cómoda y fácil de traducción en términos cartográficos. Por ello se presenta en la figura 2 la equivalencia de los valores del factor K de la RUSLE con las correspondientes clases de textura USDA.

En el caso de zonas húmedas donde ya el contenido de materia orgánica es alto, este componente puede llegar a ser el factor más importante que regula la susceptibilidad a la erosión de los suelos, como se puede observar en la figura 3 correspondiente a la zona húmeda española. En estos casos es preciso aplicar la fórmula específica de cálculo del factor K, que adquiere el valor 0 para el componente relacio-

Tabla 2. Datos específicos de suelos que se precisan para los modelos de predicción de la erosión. EUROSEM y WEPP.

| Datos de: | EUROSEM | WEPP |
|--------------|------------------------|--------------------------|
| Superficie | Manning regueros | Coef. fricción regueros |
| | Manning laminar | Coef. fricción laminar |
| | Densidad flujo conc. | Densidad regueros |
| | Rugosidad transversal | Rugosidad aleatoria |
| | Rugosidad longitudinal | Rugosidad orientada |
| | Pedregosidad | |
| Hidrología | Recesión infiltr. | Frente humectación |
| | Humedad máxima | Conductividad hidráulica |
| | Tensión capilar | Balance hídrico |
| | Conduct. hidráulica | |
| Suelos en sí | Cohesión | Densidad aparente |
| | Tamaño partícula | Erosionabilidad regueros |
| | Erosionabilidad | Erosionabilidad laminar |
| | Porosidad | Tensión corte crítica |
| | | C.I.C. |

nado con la materia orgánica cuando el contenido de esta es del 12 %; de todas formas y en función de la figura anterior, es probable que la influencia protectora de este componente vaya más allá de ese umbral. Su acción beneficiosa, como ocurría con la textura, actúa mejorando la estabilidad de los agregados e incrementando la permeabilidad del suelo. Sólo en aquellos casos donde la materia orgánica puede dar origen a suelos hidrófobos (suelos muy secos o quemados) su efecto puede ser negativo al frenar la entrada de agua en el suelo.

En relación con las propiedades caracterís-

ticas de la superficie del suelo existe un primer grupo correspondiente a los coeficientes de Manning o de fricción cuya determinación es muy poco habitual en los estudios de suelos, pero para los que sin embargo, existe en los manuales de hidrología una serie de tablas (Chow, 1964) que pueden aportar una primera información sobre estos parámetros. Más difícil es el disponer de información diferenciada para estos coeficientes en el caso de la erosión laminar y en regueros, por lo que se precisa un importante esfuerzo investigador para aportar los datos precisos. Los datos de rugosidad re-

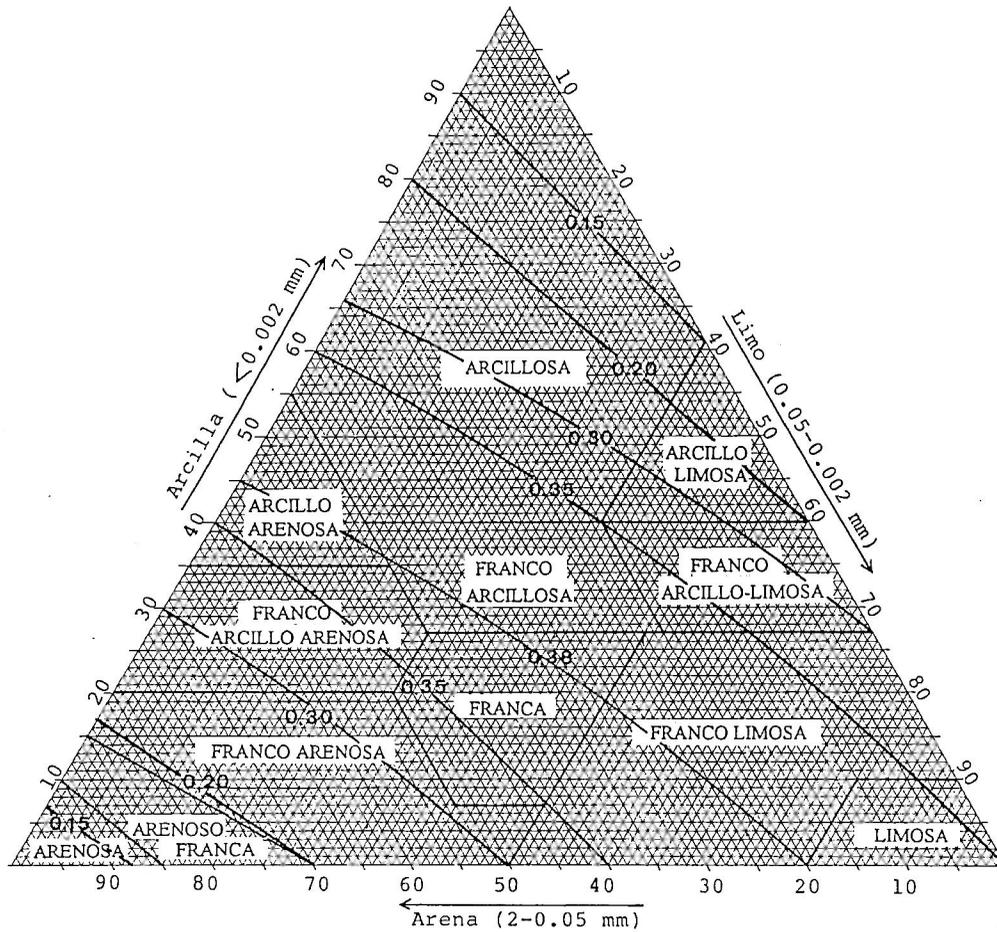


Figura 2. Relación entre el factor K según la versión simplificada de la RUSLE y las clases de textura USDA.

quieren para su obtención una metodología sencilla aunque laboriosa, por lo que son todavía muy escasos, estimándose que el horizonte temporal en el que se pueda disponer de tablas donde figuren las rugosidades de los diferentes tipos de suelos, con sus usos y sistemas de manejo esta aún muy lejano. Otro tanto sucede con los datos de densidad de regueros, donde las técnicas de información geográfica a escala de detalle podrían ser el método básico de trabajo.

De las propiedades hidrológicas, la más importante es la conductividad hidráulica tanto

saturada como no saturada. Los datos más abundantes son los obtenidos en el laboratorio que tienen muy poco que ver con la medida en el campo que es la que realmente interesa. La medida de este parámetro plantea todavía serios problemas, sobre todo en los suelos en pendiente, que es donde más interés tienen los estudios de erosión. Posiblemente, el empleo de permeómetros tipo Guelph (Reynolds y Elrick, 1985) o simuladores de lluvia de campo podrían ser las técnicas que menos problemas planteasen. Sin embargo, antes que nada sería preciso

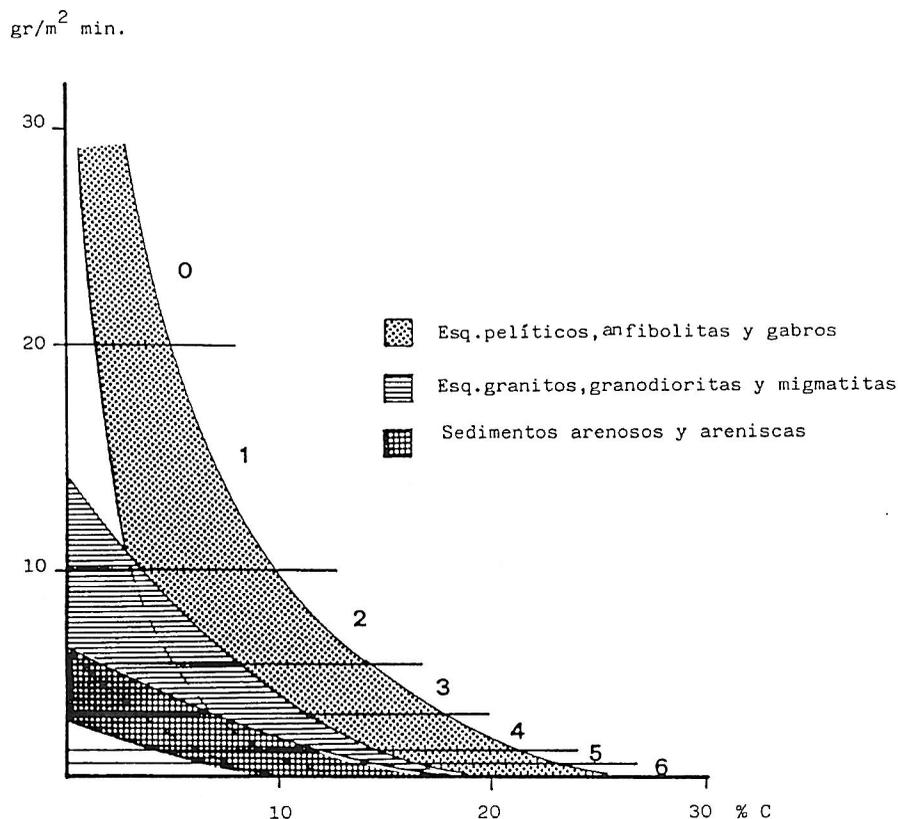


Figura 3. Relación entre la erosionabilidad de suelos de la zona húmeda española y su contenido en materia orgánica (Díaz-Fierros y Benito, 1991).

alcanzar un acuerdo sobre los métodos a emplear y a continuación diseñar un programa ambicioso de experiencias donde todas las variantes de los suelos que influyen en este parámetro pudiesen ser contempladas (componentes, encostramientos, horizontes complejos, etc.).

De las propiedades edáficas en sí, la más importante e interesante es, sin duda, la de la erosionabilidad. Esta propiedad tal como la define la USLE engloba la acción de dos procesos: la liberación de las porciones erosionables (partículas elementales o agregadas) de la masa de suelo y su evacuación por las aguas de escorrentía o de salpicadura. Son procesos que no tienen porque estar interrelacionados, por lo que los

suelos pueden tener distintas capacidades de "liberación" y "evacuación" del material erosionado. El proceso que está, sin embargo, más ligado a las propiedades edáficas es el primero, que aparece definido como "detachability" en el EUROSEM o "erodibility" en el WEPP.

La erosionabilidad, entendida como la sensibilidad del suelo al desprendimiento o liberación de partículas, depende del tipo de agente erosivo, y así puede existir una erosionabilidad frente a la energía del agua generada por salpicadura, por regueros o por escorrentía laminar. Diferentes autores proponen fórmulas específicas para cada uno de estos procesos, y así para el desprendimiento por salpicadura Foster (1982) y Rose *et al.* (1983) proponen la siguiente:

$$D_i = k_i C I^a$$

siendo k_i la erosionabilidad, I la intensidad de la lluvia y C y a constantes.

Para el desprendimiento por la acción de la escorrentía concentrada o en regueros Elliot y Laflen (1993) proponen la fórmula:

$$D_c = k_d (P - P_c)$$

en la que k_d es la erosionabilidad, P es la potencia del flujo de agua y P_c un valor crítico de esa potencia. Dicha fórmula es un caso particular de una más general propuesta para la escorrentía laminar por Foster *et al.* (1981):

$$D_c = k_d (B\tau - \tau_c)^a$$

en la que π es la tensión al corte y B y a son constantes. Una parte importante de estas ecuaciones es la "condición crítica", que podría ser definida como la resistencia del suelo al comienzo de la erosión y que, a pesar de su importancia, es para Owoputi y Stolte (1995) "la menos entendida y también una de las más difíciles de cuantificar".

En definitiva, y a la vista de lo anteriormente expuesto se concluye que la información de suelos precisa para la cuantificación de los procesos erosivos debe todavía realizarse, para proyectos que no requieran una investigación científica avanzada, bajo las propuestas de la USLE en su última versión (RUSLE), es decir a partir esencialmente de los datos de textura y contenido de materia orgánica.

En el caso de los nuevos modelos (EUROSEM, WEPP, MEDALUS, etc.) aún cuando su planteamiento teórico es mucho más exigente, su adaptación a las condiciones de campo está todavía iniciándose. Por otra parte, muchas de las formulaciones a pesar de haber superado el empirismo elemental de la USLE en sus planteamientos generales, acaban dependiendo también al final de funciones empíricas, como puede ser el caso de todas las indicadas para la erosionabilidad (Owoputi y Stolte, 1995),

por lo que en última instancia siguen adoleciendo de la falta de un número de ensayos experimentales suficiente como para garantizar su fiabilidad.

La revista "Science" (17 de Junio de 1994) publicaba un pequeño artículo de Glanz: *New Soil Erosion Model Erodes Farmers Patience*, en el que mostraba su preocupación por la lentitud en la puesta en práctica de la RUSLE. En sintonía con esos sentimientos habría que preguntarse también si los nuevos modelos no llegarán a erosionar la paciencia de los edafólogos antes de que puedan convertirse en instrumentos útiles de trabajo o investigación. Quizá, para que esto no ocurra, sería preciso iniciar cuanto antes una amplia campaña de experiencias de campo para darle el imprescindible soporte empírico del que adolecen.

REFERENCIAS

- Baver, L.D. (1933). Some factors affecting erosion. *Agr. Engineering* **14**, 51-52.
- Bennett, H.H. (1926). Some comparisons of the properties of humid-tropical and humid-temperate american soils. *Soil Sci.* **21**, 349-375.
- Bouyoucos, G.J. (1935). The clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion. *J. Am. Soc. Agron.* **27**, 738-741.
- Bryan, R.B. (1968). The development, use and efficiency of indices of soil erodibility. *Geoderma* **2**, 3-24.
- Chow, V.T. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- Cook, H.L. (1936). The nature and controlling variables of the water erosion process. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **2**, 537-545.
- CSIC. (1968). Mapa de suelos de España, 1:1.000.000. 1 mapa+ pp. CSIC. Madrid.
- De Leenher, L. & De Boot, M. (1959). Determination of aggregate stability by the change in mean weight-diameter. *Med. Landbouwhogeschool Gante.* **24**, 290-351.
- Díaz-Fierros, F. & Benito, E. (1991).

- Aproximación a una cartografía de la erosionabilidad del suelo en Galicia (NW España). *Cuaternario y Geomorfología* **5**, 45-55.
- Díaz-Fierros, F. & Benito, E. (1996). Rainwash erodibility of spanish soils. En: Soil Degradation and Desertification in Mediterranean Environments, J.L. Rubio and A. Calvo, ed. Geoforma Ediciones, Logroño. 91-103.
- Elliot, W.T. & Laflen, J.M. (1993). A process-based rill erosion model. *Trans. ASAE* **29**, 305-327.
- Ellison, W.D. (1947). Soil erosion studies. Part II. Soil detachment hazard by raindrop splash. *Agric. Enging.* **28**, 197-201.
- FAO (1985). Sistema de clasificación de suelos. 3ª edición revisada. FAO. Roma.
- Foster, G.R. (1982). Modeling the soil erosion process. En: Hydrologic Modeling of Small Watersheds, *ASAE*, 297-380.
- _____; Lane, L.D.; Nowlin, J.D.; Laflen, J.M.; Young, R.A. (1981). Estimating erosion and sediment yield on field-sized areas. *Trans. ASAE* **24**, 1253-1262.
- _____; Meyer, L.D. (1975). Mathematical simulation of upland erosion by fundamental erosion mechanics. En: Present and Perspective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources USDA-ARS-S-40, Washington.
- Glanz, J. (1994). New soil erosion model erodes farmers' patience. *Science* **264**, 1661-1662.
- Henin, S.; Mounier, G.; Combeau, A. (1958). Methode pour l'étude de la stabilite structurale des sols. *Anal. Agron.* **1**, 71-90.
- Hirschi, M.C. & Barfield, B.J. (1988). KYERMO- A physical based research erosion model. Part I: Model development. *Trans. ASAE* **31**, 804-813.
- Hudson, N. (1982). Conservación del Suelo. Editorial Reverte, Barcelona.
- Meyer, L.D. & Wischmeier, W.H. (1969). Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. *Trans. ASAE* **8**, 572-580.
- Middelton, H.E. (1930). Properties of soil which influence of soil erosion. *Tech. Bull.* **178**. USDA, Washington D.C.
- Mintegui, J. (1984). Metodología para la evaluación de la erosión hídrica. MOPU, Madrid.
- Morgan, R.P.C.; Quinton, J.N.; Rickson, R.J. (1992). A soil erosion prediction model for the European Community. En: Soil Conservation for Survival. H. Hurni & K. Tato eds. Soil and Water Conservation Society, Iowa.
- Musgrave, G.W. (1947). The quantitative evaluation of factors in water erosion- a first approximation. *J. Soil Water Conserv.* **2**, 133-138.
- Nearing, M.A.; Foster, G.R.; Lane, L.J.; Finkers, S.C. (1989). A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology. *Trans. ASAE* **32**, 1587-1593.
- Olson, T.C. & Wischmeier, W.H. (1963). Soil erodibility evaluations for soils on the runoff and erosion stations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **27**, 590-592.
- Owoputi, L.O. & Stolte, W.E. (1995). Soil detachment in the physical based erosion processes: A review. *Trans. ASAE* **38**, 1099-1110.
- Renard, K.G.; Foster, G.R.; Weesies, G.A.; Porter, J.P. (1991). RUSLE- Revised Universal Soil Loss Equation. *J. Soil Water Conserv.* **46**, 30-33.
- Reynolds, W.D. and Elrick, D.E. (1985). In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the (-parameter using the Guelph permeameter. *Soil Sci.* **140**, 292-302.
- Risse, L.M.; Nearing, M.A.; Nicks, L.J.; Laflen, J.M. (1993). Error assessment in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **57**, 825-833.
- Rose, C.W.; Williams, J.R.; Sander, G.C.; Barry, D.A. (1983). A mathematical model of soil erosion and deposition processes: I. Theory for a plane lan element. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **47**, 991-995.
- Sanroque, P.; Rubio, J.L.; Sánchez, J.; Salvador,

- P.; Arnal, S. (1984). Evaluación del riesgo de erosión hídrica en la provincia de Valencia. Zonas piloto de Higuierelas y Túdejar. *Rev. Agroquim. Technol. Aliment.* **24**, 134-150.
- _____; Rubio, J.L.; Izquierdo, L. (1990). Relaciones de erosionabilidad, material de origen y el tipo de suelo en zonas de la provincia de Valencia (España). *Soil Techn.* **3**, 373-384.
- Smith, D.D. & Wischmeier, W.H. (1957). Factors affecting sheet and rill erosion. *Trans. Am. Geophys. Union* **38**, 889-896.
- Thornes, J.B.; Shao, J.X.; Díaz, E.; Roldan, A.; McMahon M.; Hawkes, C. (1996). Testing the MEDALUS hillslope model. *Catena* **26**, 137-160.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1958). Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophys. Union* **39**, 285-291.
- _____; & Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA *Agric. Handbook 537*, Washington.
- _____; Smith, D.D.; Uhland, R.E. (1958). Evaluation of factors in the soil loss equation. *Agr. Enging.* **39**, 458-462.
- _____; Johnson, C.B.; Cross, B.V. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. Soil Water Conserv.* **26**, 189-193.
- Woolhiser, D.A.; Smith, R.E.; Goodrich, D.C. (1990). KINEROS, a Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual. USDA *Agric. Res. Serv. ARS-77*. Indiana.
- Zingg, A.W. (1940). Degree and length of land slope as its affects soil loss in runoff. *Agr. Enging.* **21**, 59-64.