

ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA CINÉTICA DE LA LLUVIA CON TÉCNICA DE MEDIDA AUTOMÁTICA. APLICACIÓN AL CÁLCULO DE LA EROSIVIDAD DE LA LLUVIA

Margarita Roldán Soriano y José Antonio Fernández Yuste

Universidad Politécnica de Madrid (UPM). E.U.I.T. Forestal, Ciudad Universitaria s/n. 28040-MADRID (España). Correo electrónico: margarita.rolدان@upm.es

Resumen

El trabajo versa sobre la caracterización cuantitativa de una propiedad de la lluvia tan importante como es la energía cinética, entrada de energía en el proceso de erosión hídrica y por tanto, una de las causantes de la pérdida de suelo. El primer objetivo en este estudio es la obtención de una ecuación del tipo energía cinética (EC)-intensidad (I) con algunas peculiaridades, y con registros obtenidos de forma automática. El segundo objetivo es poder calcular la energía cinética con algún otro parámetro de lluvia más fácil de obtener que la intensidad, como es la lluvia diaria registrada en un observatorio pluviométrico normal. Se ha hecho una aplicación de las ecuaciones obtenidas entre energía cinética diaria (EC_{24h}) y de precipitación diaria (P_{24h}) para la obtención del factor pluviométrico "R" ($E \cdot I_{30}$) en varias localidades de España a partir de datos de precipitación diaria, comprobando su sencillez y rapidez en el cálculo, que de otra manera hubiera sido laborioso y costoso.

Palabras clave: *Disdrómetro, Precipitación, Intensidad, Factor "R"*

INTRODUCCIÓN

En los estudios de erosión la energía cinética de la lluvia, necesaria para estimar la erosividad, se ha venido calculando con relaciones empíricas a partir de parámetros de lluvia conocidos, habitualmente a través de la intensidad de la lluvia, que es función del tamaño y de la velocidad terminal de la gota (HUDSON, 1965; CARTER *et al.*, 1974; MC GREGOR & MUTCHLER, 1976; ZANCHI & TORRI, 1980; ROSEWELL, 1986). La mayoría de las ecuaciones habituales EC-I presentan algunas de las limitaciones siguientes:

1) La gran variedad de métodos utilizados para medir la distribución de diámetros media-

nos y velocidades de gotas, hace difícil establecer un criterio objetivo sobre su validez. 2) Las posibles diferencias entre unas ecuaciones u otras pueden ser debidas a la dependencia de la distribución del tamaño de gotas con las condiciones meteorológicas, y por tanto, con la localización de los ensayos. 3) Aunque no están claros los límites de intensidad o cantidad de lluvia que podrían considerarse erosivos, si se sabe que hay lluvias que no poseen capacidad erosiva. 4) Aunque se sabe que el diámetro de las gotas no crece de forma indefinida, y por tanto tampoco su energía cinética, no consideran un límite de energía cinética máximo (WISCHMEIER & SMITH, 1978; MORGAN, 1997; VAN DIJK *et al.*, 2002; USÓN & RAMOS, 2001;

JAYAWARDENA & REZAUR, 2000). 5) Hay pocos datos para valores de I grandes. La extrapolación a valores altos puede suponer cierta incertidumbre. 6) En algunas expresiones su aplicación está acotada a unos intervalos de intensidad, que en algunos casos pueden no ser prácticos desde el punto de vista erosivo. 7) La mayoría de las expresiones en uso obtienen la energía cinética con relaciones del tipo $EC_{mm}-I$, en vez de $EC_{tiempo}-I$, debido principalmente, a los métodos de medida. SALLES et al. (2002) demuestran que el uso de EC_{tiempo} es más apropiado que el uso de EC_{mm} .

El primer objetivo del trabajo es plantear una nueva ecuación $EC_{tiempo}-I$ que palie las limitaciones presentadas. Además, en este trabajo se plantea como segundo objetivo la necesidad de obtener una ecuación con algún parámetro de lluvia más fácil de obtener que la intensidad, como es la lluvia diaria registrada en un observatorio pluviométrico normal más abundantes que las estaciones con pluviógrafo. La obtención de una expresión que relacionase energía cinética con precipitación diaria resolvería los problemas que se plantean en el cálculo de EC en función de I .

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de datos. Instrumento de medida. Disdrómetro

El instrumento de medida es el disdrómetro, del tipo de JOSS & WALDVOGEL (1967), que permite caracterizar la población de tamaños de gotas de lluvia. Los tamaños de gota son registrados de minuto en minuto. Obtiene nº de impactos agrupados por tamaños de gotas en 20 clases, con diámetros comprendidos entre 0,3 mm y 5,145 mm. Se asignó a cada clase un valor de EC representativo (ROLDÁN, 2005). Los valores de energías cinéticas representativos por clase aparecen en la Tabla 1.

Área de estudio y datos de lluvia.

El equipo de toma de datos se instaló en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal de Madrid. Se registraron las lluvias de dos años, minuto a minuto, día y noche. En total se registraron 3.430 minutos con lluvia.

1^{er} OBJETIVO. OBTENCIÓN DE ECUACIÓN $EC-I$

Tipo de función.

La función planteada es una ecuación exponencial similar a la de VAN DIJK et al. (2002), acotada superiormente, $EC_{tiempo} = EC_{max} - e^{F(I)}$ pero del tipo $EC_{tiempo}-I$, con EC_{tiempo} y EC_{max} en $J \cdot m^{-2}$ y min , e I en $mm \cdot h^{-1}$.

Datos empleados en la búsqueda de la ecuación

Se hicieron una serie de consideraciones que intentaban paliar las limitaciones indicadas y que se agrupan en los siguientes aspectos:

Umbral de intensidad mínima significativa. Las lluvias con intensidades altas y con tamaños de gota grandes, se sabe que son las causantes de las erosiones más graves, pero no se sabe cuales son los valores a partir de los cuales son erosivas. Hay algunas referencias sobre intensidades mínimas (WISCHMEIER & SMITH, 1978; MORGAN, 1997; VAN DIJK et al., 2002; USÓN & RAMOS, 2001; JAYAWARDENA & REZAUR, 2000). Al no existir un límite claro de valor de intensidad, a partir del cual la lluvia deba considerarse erosiva, y teniendo en cuenta las referencias de los autores citados, se contempla la posibilidad de considerar como límite mínimo de intensidad de lluvia erosiva el valor de $1 \text{ mm} \cdot h^{-1}$. El número de datos de precipitación registrados disponibles con $I > 1 \text{ mm} \cdot h^{-1}$, es de 2.273 datos.

Ponderación de datos. Para evitar que la relación buscada $EC-I$ de mayor peso a intensidades más bajas, se hizo una segunda selección de datos. Se subdivide el total de datos en tramos de intensidad: 1-5, 5-10, 10-20, y $>20 \text{ mm} \cdot h^{-1}$. De los datos con $I > 1 \text{ mm} \cdot h^{-1}$, 2.032 se corresponden a intensidad entre 1 y $5 \text{ mm} \cdot h^{-1}$. Se reduce el número de datos en este rango, considerándose igual al que presenta mayor número de datos en otro intervalo, en este caso 5-10 $\text{mm} \cdot h^{-1}$ que presenta 200 datos. Por tanto, se toman 200 datos entre 1-5 $\text{mm} \cdot h^{-1}$.

Datos de intensidades altas. Otro problema es la existencia relativa de pocos datos con I elevados. Para incrementar el rango de los valores de I altas, se hace uso de la información elaborada por SEMPERE TORRES et al. (1992), en cuyo trabajo utilizó precipitaciones con $I > 20 \text{ mm} \cdot h^{-1}$, en condiciones similares a las manejadas en este trabajo. En concreto se manejaron 21 datos registrados por Sempere Torres con $I > 40 \text{ mm} \cdot h^{-1}$.

Clase	Diámetro (mm)	Energía cinética (J/gota)
1	0.313-0.405	3.39E-08
2	0.405-0.505	1.05E-07
3	0.505-0.596	2.58E-07
4	0.596-0.715	5.95E-07
5	0.715-0.827	1.27E-06
6	0.827-0.999	2.82E-06
7	0.999-1.232	7.13E-06
8	1.232-1.429	1.56E-05
9	1.429-1.582	2.67E-05
10	1.582-1.748	4.15E-05
11	1.748-2.077	7.63E-05
12	2.077-2.411	1.53E-04
13	2.411-2.727	2.61E-04
14	2.727-3.011	3.54E-04
15	3.011-3.385	5.96E-04
16	3.385-3.704	8.69E-04
17	3.704-4.127	1.24E-03
18	4.127-4.573	1.77E-03
19	4.573-5.145	2.52E-03
20	>5.145	3.51E-03

Tabla 1. Energía cinética por clase

Los datos utilizados presentan un rango de intensidades muy amplio, $1\text{mm}\cdot\text{h} < I < 90\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$. El número total de datos con $I > 1\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ considerados para el estudio es de 462.

Unidades. El hecho de disponer de datos recogidos de forma automática permite manejar relaciones del tipo $EC_{\text{tiempo}}-I$, frente a relaciones del tipo $EC_{\text{mm}}-I$.

Estimación de EC. Se obtienen para los registros de P considerados, sus correspondientes EC_{tiempo} de la siguiente manera: $EC_{\text{minuto}} = \sum_{i=1}^{20} EC_i * n_i$; EC_i , es energía cinética representativa en la clase i (Tabla 1), y n_i es el número de impactos en el canal i en un minuto.

Valores máximos de energía cinética. El diámetro de las gotas no crece de forma indefinida, y por tanto tampoco, su energía cinética. Muchas de las fórmulas tradicionales sobrevaloran la energía cinética ya que asumen implícitamente, que la energía cinética crece indefinidamente con la intensidad. Hay algunas referencias de valores de límites de energía cinética en la lluvia: SALLES et al. (2002), WISCHMEIER & SMITH (1978), CARTER et al. (1974), MORGAN (1997), VAN DIJK

et al. (2002), COUTINHO & TOMÁS (1985), pero no hay un establecimiento claro del valor de EC_{max} asociado a una I elevada. El valor de energía cinética obtenido con los datos de SEMPERE TORRES et al. (1992) fue de $47,5 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}$ para la máxima intensidad $89,3 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$. El mayor valor de energía cinética obtenido con los datos registrados en Madrid es de $26,15 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}$, para la intensidad de $47 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$.

Teniendo en cuenta estos valores y los recogidos en las referencias se establece como valor máximo de EC $65 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}$, superior al obtenido con los registros, y suponiendo que pudieran presentarse lluvias con energías superiores a las obtenidas.

Resultados y discusión

Estimación de parámetros. En la búsqueda de la ecuación de regresión $EC-I$, se maneja el programa SPSS, versión 11.5 para Windows, considerando como $EC_{\text{max}} = 65 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ y min .

$$EC_{\text{minuto}} = 65 - e^{(-9,8679*10^{-5}*I^2 - 4,987*10^{-3}*I + 4,1779)}$$

$$R^2 = 0,987$$

EC ($\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ y min); I ($\text{mm}\cdot\text{h}$)

[1]

Análisis de residuos. Se analizaron la distribución de los residuos y el % de error de las energías cinéticas calculadas con la ecuación obtenida, con respecto a las energías cinéticas obtenidas con la información de los registros del disdrómetro. Dichos residuos y % error se distribuían aleatoriamente en torno al eje X. Puede pues aceptarse que la varianza no explicada con la ecuación obtenida se debe a cuestiones aleatorias y no a un comportamiento subyacente en los datos, y no explicado por el modelo.

Análisis de sensibilidad. La falta de conocimiento en el valor de la energía cinética máxima que podría presentar una lluvia, crea cierta incertidumbre en el valor considerado (65 J·m²·min). Para comprobar la sensibilidad de la ecuación obtenida a ese parámetro, se obtuvieron dos ecuaciones del mismo tipo, pero variando ese valor máximo en +/- 20%.

Comparando los valores observados y predichos de energía cinética, con las tres ecuaciones de regresión obtenidas con esos valores máximos de energía, se obtienen diferencias en el cálculo de energía muy pequeñas (ROLDÁN, 2005). Produciéndose pequeñas discrepancias para los valores de intensidad más altos, que serían los valores más importantes desde el punto de vista erosivo.

Conclusiones.

1) No presenta limitaciones en el rango de aplicación, solo la que sirvió como premisa, precipitaciones con I>1mm·h, considerado valor umbral de lluvia erosiva. 2) Proporciona estimas de EC con errores relativos pequeños, distribución aleatoria de residuos y coeficientes de correlación elevados. 3) EC acotada para intensidades elevadas. Tiene significado físico y práctico. 4). Las unidades de EC son por unidad de tiempo. 5) Obtenida con registros de P de nuestras latitudes, desapareciendo la incertidumbre de aplicación de otras ecuaciones calculadas con datos registrados en otras latitudes.

2 ° OBJETIVO. BÚSQUEDA DE UNA ECUACIÓN $EC_{24h} - P_{24h}$

Obtención de datos de P_{24h} y EC_{24h}

La precipitación en 24 horas (P_{24h}) se obtuvo como suma de las cantidades registradas con el disdrómetro, minuto a minuto, durante 24 horas.

El máximo valor de precipitación en 24 horas registrado fue de 25,6 mm en esos dos años. La energía cinética de la lluvia de 24 horas (EC_{24h}), se obtiene como suma de las energías cinéticas calculadas minuto a minuto.

Tipo de función.

Se buscó una ecuación de regresión de tipo potencial $EC_{24h} = EC_{max} (1 - a^{(f(P_{24h}))})$, que

relacionase la EC_{24h} (J·m²·día) y P_{24h} (mm), y que considerase una energía cinética mínima (EC_{min}) y una energía cinética máxima (EC_{max}), siendo “a” el parámetro que recoge la influencia de EC_{min}. Ya que parece razonable pensar que por debajo de un determinado valor de precipitación diaria su energía asociada es también muy baja y podría considerarse como “no erosiva”. La EC_{max} es la energía que se considera como límite máximo asociada a una precipitación diaria en una latitud, lo que supone aceptar que la energía cinética no tendrá un crecimiento ilimitado, ya que tampoco lo hace P_{24h}, presentando un valor máximo probable para una determinada latitud.

Asignación de una energía cinética máxima. El desconocimiento de un valor de energía cinética máxima asociado a una precipitación máxima probable y dado que los valores de precipitación y energía registrados en Madrid no fueron elevados hacía que con dicha información no fuese posible asignar un valor de energía cinética máxima representativo de lluvias elevadas. Para resolver este problema se hizo lo siguiente:

- 1º. Se buscaron referencias de las mayores precipitaciones registradas en España, la precipitación mayor de la que se tiene referencia fue de P_{24h}=871mm (OLCINA, 2007), era de esperar que su energía cinética asociada fuese muy elevada.
- 2º. Se asignó a esa precipitación una energía cinética. Para dicha asignación se siguió el siguiente procedimiento:
 - a) Se obtuvieron para esa precipitación las I horarias, asumiendo la ley Intensidad-Duración-Frecuencia (I-D-F) (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y MEDIO AMBIENTE, 1993).
 - b) Se obtuvieron para esas I intensidades (mm·h) las EC horarias con la expresión [1] como suma de las EC por minuto. es

el sumatorio de esas energías cinéticas horarias. La energía cinética de esa precipitación máxima fue de $17.882 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}$

Generación de datos de energía cinética para precipitaciones elevadas. Procedimiento de cálculo. El propósito era obtener una ecuación de regresión EC_{24h}-P_{24h} que se pudiese aplicar a rangos de precipitación y energía cinética mayores a los registrados. El problema era la falta de datos observados de energías cinéticas para valores de precipitación altos. Para intentar paliar este problema, se generaron artificialmente datos de EC_{24h}-P_{24h}. El procedimiento de generación de datos es similar al empleado en la obtención de la energía cinética máxima. Se seleccionaron valores de precipitación, comprendidos entre 25 y 871 mm, suponiendo que su probabilidad de ocurrencia sigue una ley logarítmica. Se obtuvieron las energías cinéticas de dichas precipitaciones con [1].

Asignación de Energía cinética mínima. La consideración de una energía cinética mínima para la lluvia, se hizo con la reflexión de que el valor de energía cinética de una lluvia diaria debería también, estar acotado inferiormente, por lo menos desde el punto de vista erosivo. La asignación de un valor de energía cinética mínima se basó en los datos registrados. El menor valor registrado fue $EC_{24h}=5,7 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ correspondiente a la precipitación diaria de 1,03 mm.

Datos empleados en la búsqueda de la ecuación

Las parejas de valores EC_{24h}-P_{24h} empleados son las correspondientes a las registradas en Madrid (39) y a las generadas (39).

Resultados y discusión

Estimación de parámetros. Se empleo el programa SPSS versión 11.5. para Windows. La ecuación que mejor se ajustaba fue:

$$EC_{24h} = 17882 (1 - 3,5^{(-1.8392 \cdot 10^{-6} \cdot P_{24h}^2 - 8.322 \cdot 10^{-4} \cdot P_{24h})})$$

$$R^2 = 0,99758 \quad [2]$$

Se representaron sobre unos ejes coordenados los residuos y los % de error cometidos en la aplicación [2] y se observó que se sobrevaloraban los valores de EC para $P < 100 \text{ mm}$. Esta sobrestimación podría deberse a la mayor influencia que sobre la regresión pudiesen tener

los valores de precipitación mayores. Para evitar que con su aplicación se estén sobrestimando las EC_{24h} de P_{24h} más pequeñas se plantea otro ajuste, manteniendo la misma estructura que [2] y tenga en cuenta este hecho. El número de datos utilizados en la nueva estimación fue de los 39 datos observados y 4 datos con $P_{24h} > 25 \text{ mm}$ generados. Para determinar el número de datos generados, a utilizar en la regresión, se hizo atendiendo a la frecuencia de aparición de las P_{24h} en España. La ecuación de regresión que mejor se ajustaba fue:

$$EC_{24h} = 17882 (1 - 3,5^{(-3.279 \cdot 10^{-6} \cdot P_{24h}^2 - 6.2967 \cdot 10^{-4} \cdot P_{24h})})$$

$$R^2 = 0,9944 \quad [3]$$

Análisis de residuos. Se representaron los residuos y los % error cometidos con la aplicación de [3] y se apreció que se distribuían aleatoriamente, lo que podría indicar una mejor interpretación del fenómeno de relación EC_{24h}-P_{24h}. Se aprecia que [2] sobrestima para valores bajos de P_{24h}, mientras ajusta mejor para P_{24h} altos, y que [3] ajusta mejor para valores bajos de P_{24h} sobrestimando para los altos. Ambas funciones estimaban el mismo valor de EC_{24h} para el valor de P_{24h}= 140mm que se corresponde con EC_{24h} de 3.108,34 J·m⁻².

Conclusiones

Las ecuaciones que proporcionan el mejor ajuste y coeficientes de correlación elevados fueron [2] y [3]. Se recomienda el uso combinado de las ecuaciones [2] para $P_{24h} \geq 140 \text{ mm}$, menos frecuentes y [3] para $100 < P_{24h} \leq 140 \text{ mm}$, más frecuentes. Estas ecuaciones [2] y [3] presentan otras cualidades: 1) Buena explicación del fenómeno al distribuirse sus residuos y % de error de forma aleatoria. 2) Desde el punto de vista físico y erosivo parece razonable la consideración de un valor de energía máximo y mínimo.

Presentan además ventajas en su uso: 1) Facilidad en la obtención de datos. 2) Sencillez y rapidez de cálculo. 3) Límite de aplicación muy amplio.

Aplicación

La(s) ecuación(es) potencial(es) (EC_{24h}-P_{24h}) se han implementado para el cálculo del factor pluvial "R" ($EC \cdot I_{30}$). La máxima intensidad en 30 minutos de la lluvia (I₃₀) se ha obtenido utili-

zando la ley I-D-F. Se han obtenido los valores "R" en diferentes localidades en España y se ha hecho la comparación con los valores de "R" obtenidos en las mismas localidades con la ecuación de Wischmeier y Smith (EC-I) (MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, 1988). En dicha comparación se aprecian pequeñas diferencias de cálculo entre los dos procedimientos. La metodología elaborada presenta algunas ventajas importantes, principalmente, buena interpretación del fenómeno de relación EC_{24h} - P_{24h} , además de la ventaja en la facilidad de obtención de datos. Así como, simplicidad y rapidez en la estimación del factor "R"

BIBLIOGRAFÍA

- CARTER, C.E.; GREER, H.J. & FLOYD, J.M.; 1974. Raindrop characteristics in South Central United States. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 17: 1033-1037.
- COUTINHO, M.A. & TOMAS, P.P.; 1985. Characterization of raindrop size distributions at the Vale Formoso Experimental Erosion Centre. *Catena* 25: 187-197.
- HUDSON, N.W.; 1965. *The influence of rainfall on the mechanics of soil erosion*. MSc Thesis, University of Cape Town. Cape Town, South Africa.
- JAYAWARDENA, A.W. & REZAU, R.B.; 2000. Measuring drop size distribution and Kinetic energy of rainfall using a force transducer. *Hydrological Processes* 14: 37-49
- JAYAWARDENA, A.W. & REZAU, R.B.; 2000. Drop size distribution and kinetic energy load of rainstorms in Hong Kong. *Hydrological Processes* 14: 1069-1082.
- JOSS, J. & WALDVOGEL, A.; 1967. Ein spektrograph für Niederschlag atropfen mit automatischer auswertung (A spectrograph for automatic measurement of rainfalls). *Pure and Applied Geophysic* 68: 240-246.
- MCGREGOR, K.C. & MUTCHLER, C.K.; 1976. Status of the R factor in Northern Mississippi, soil erosion: prediction and control. *Soil Conservation Society of America*: 135-142.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN; 1988. *Agresividad de la lluvia en España. Valores del factor R de la ecuación universal de pérdidas de suelo*. ICONA. Madrid.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y MEDIO AMBIENTE. DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS; 1993. *Drenaje Superficial. Instrucción 5.2-IC*. Madrid.
- MORGAN, R.P.C.; 1997. *Erosión y conservación del suelo*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- OLCINA, J.; 1994. *Riesgos climáticos en la Península Ibérica*. Libros Penthálón.
- ROSEWELL, C.J.; 1986. Rainfall Kinetic energy in eastern Australia. *J. Climate Appl. Meteorol.* 25: 1695-1701.
- ROLDÁN, M.; 2005. *Características de la precipitación y erosividad*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- SALLES, C.; POESEN, J. & SEMPERE TORRES, D.; 2002. Kinetic energy of rain and its functional relationship with intensity. *J. Hydrol.* 257: 256-260.
- SEMPERE TORRES, D.; PORRÀ, J.M.; CREUTIN, J.D. & DELRIEU, G. (1992). Quantification of soil detachment by raindrop impact: performances of classical formulae of kinetic energy in Mediterranean storms. In: J. Boegen & D.E.T. Walling (eds.), *Erosion and sediment transport monitoring programmes in river basins*. IAHS publ. 210: 115-124.
- USON, A. & RAMOS, M.C.; 2001. An improved rainfall erosivity index obtained from experimental interrill soil losses in soils with a Mediterranean climate. *Catena* 4: 293-305.
- VAN DIJK, A.I.J.M.; BRUIJNZEEL, L.A. & ROSEWELL, C.J.; 2002. Rainfall intensity-kinetic energy relationships: a critical literature appraisal. *J. Hydrol.* 261: 1-23.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D.; 1978. *Predicting rainfall erosion*. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook nº 537.
- ZANCHI, C. & TORRI, D.; 1980. Evaluation of rainfall energy in central Italy. In: M. Boodt & D. Gabriels (eds.), *Soil Erosion Assessment*: 133-142. Wiley. Chichester.