

EROSIÓN DE SUELO EN EPISODIOS DE LLUVIA DE ELEVADA INTENSIDAD VERSUS EPISODIOS DE MODERADA Y BAJA INTENSIDAD Y ELEVADA FRECUENCIA, EN AMBIENTES SEMIARIDOS

S. DE ALBA
G. BENITO

Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Madrid

A. PÉREZ GONZÁLEZ

Facultad CC. Geológicas, Universidad Complutense, Madrid.

Resumen:

Se analizan los efectos de un episodio tormentoso ocurrido en la localidad de Rielves (Toledo) en agosto de 1995, en el que se registró una precipitación total de 70 mm en apenas 45 min con intensidades medias de lluvia de 93.3 mm h⁻¹. Las tasas de erosión obtenidas para este episodio, se comparan con las tasas anuales registradas en parcelas experimentales durante cuatro años consecutivos (1993/94-96/97) en la Finca Experimental La Higuera (CCMA, CSIC). Los resultados revelan elevadas tasas de erosión en los suelos agrícolas mantenidos en barbecho mediante prácticas de laboreo convencional, con pérdidas medias anuales superiores a 46 t ha⁻¹ año⁻¹. Se pone de manifiesto el efecto predominante de los episodios aislados de carácter tormentoso en la erosión de los suelos, que llegan a suponer más del 84% de las pérdidas de suelo medias anuales.

Palabras clave:

Erosión de suelos, episodios extremos, zonas semiáridas, tierras agrícolas.

Abstract:

Soil erosion in extreme rainfalls of high intensity versus rainfalls of moderate and low intensity and high frequency, in semiarid environments. The soil loss in a single rainfall event of high intensity and mean annual soil losses in events of moderate and low intensity and high frequency are compared. Soil erosion in agricultural lands of semiarid environments in the central region of the Tago river basin is studied. The effects of an extreme storm on August of 1995 near Rielves (Toledo, Spain) were studied. The total precipitation in 45 minutes was 70 mm with an average intensity of 93.3 mm h⁻¹. The soil losses produced by this single extreme event are compared to the ones recorded in experimental plots during four years (1993/94-1996/97) in the La Higuera Experimental Station (Toledo). The data show that a single rainfall event may produce more than 84% of the total annual soil losses. Very high erosion rates with mean annual values higher than 46 t ha⁻¹ were obtained for agricultural fields in fallow conditions with a conventional tillage management.

Key words:

Soil erosion, extreme rainfall, semiarid environments, agricultural lands.

1. INTRODUCCIÓN

Dos de los rasgos que caracterizan el clima mediterráneo consisten en la distribución irregular de las precipitaciones a lo largo del año y en la ocurrencia de episodios tormentosos de elevada intensidad (ej.

Campel Molina, 1981). En diversos trabajos se ha puesto de manifiesto el papel geomorfológico predominante que juegan los episodios extremos de precipitación en regiones de clima mediterráneo (Thornes, 1976; Poessen *et al.* 1997). En este sentido, en España la bibliografía recoge diversas publicaciones aunque mayoritariamente referidas a zonas con regímenes pluviométricos de subhúmedos a húmedos en ambientes de montaña como son, entre otros, los trabajos de Martín Bono y Puigdefábregas (1983), Pérez Cueva y Calvo (1984), Gallart y Clotet (1988), etc. Entre los más recientes, cabe destacar los que abordan el episodio catastrófico de 1996 del Valle de Arás en Biescas (García Ruiz *et al.*, 1997; Benito *et al.*, 1998). Sin embargo, son muy pocos los trabajos en los que se ha estudiado los efectos erosivos de los episodios de elevada intensidad de lluvia en los suelos agrícolas, y de forma especial en los campos de agricultura extensiva de secano del interior peninsular. Por tanto, existe una carencia casi absoluta de datos de campo de pérdidas de suelo en estos sistemas. En este trabajo se analiza las pérdidas de suelo producidas en laderas agrícolas durante una tormenta de elevada intensidad de lluvia (Rielves, agosto-1995) en comparación con las tasas de erosión anuales registradas en parcelas experimentales durante cuatro años consecutivos de registro.

2. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se sitúa en la región central de la cuenca del Tago, dentro de la provincia de Toledo en la Comarca de Torrijos (Figura 1). El clima corresponde a un clima de tipo mediterráneo continental semiárido con una precipitación media anual de 484 mm. La litología de la zona está caracterizada por presentar materiales sedimentarios no consolidados, constituidos fundamentalmente por arcosas de edad Mioceno procedentes de la erosión de rocas ígneas y metamórficas del Sistema Central. El relieve es suavemente ondulado con pendientes medias generalmente inferiores al 15%. Los tipos de suelo dominantes se caracterizan por presentar un horizonte superficial de lavado *Ap* de tipo Ocrico (FAO, 1989), de textura franco-arenosa a franca y un horizonte subsuperficial de acumulación de arcilla iluvial *Bt* de tipo Argico de estructura fuertemente desarrollada y textura generalmente franco-arcillo-arenosa. Siguiendo la clasificación de suelos de la FAO (1989) se trata de suelos de tipo Luvisoles que pueden ser cálcicos (LVk), vérticos

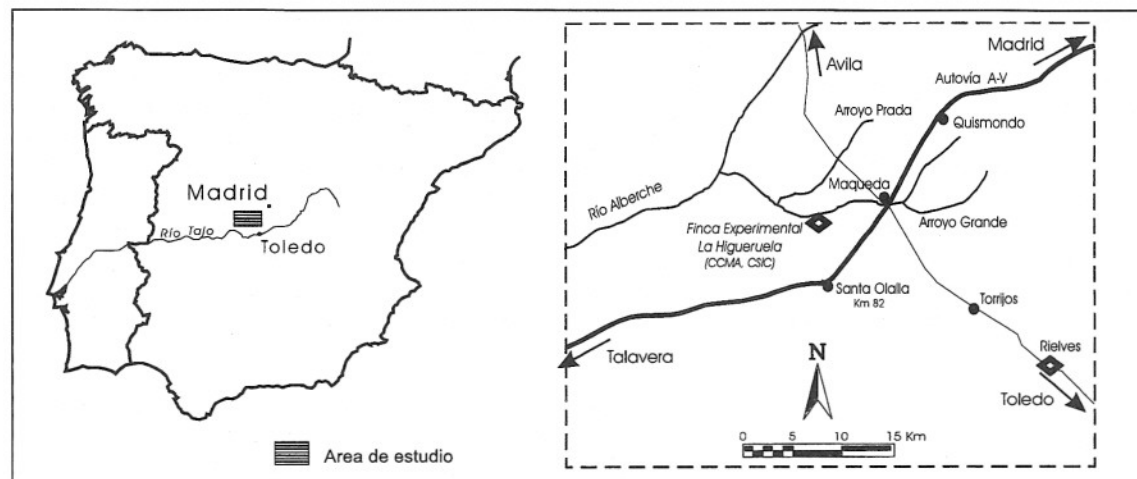


Fig. 1. Localización del área de estudio.

(LVv) o háplicos (LVh) dependiendo que presenten respectivamente acumulaciones de carbonato cálcico, propiedades vérticas o ninguna de estas dos características.

3. MÉTODOS

a) Parcelas experimentales para el control de la erosión hídrica

El control de las tasas de pérdida de suelo en parcelas experimentales bajo condiciones de lluvia natural se llevo a cabo en las instalaciones de la Finca Experimental La Higuera (CCMA). Durante cuatro campañas agrícolas consecutivas, de 1993/94 a 1996/97, se realizó un seguimiento de la producción de escorrentía y sedimentos en una parcela mantenida en barbecho y desprovista de cualquier cubierta vegetal (barbecho blanco). En la parcela se aplicó un sistema de laboreo convencional, con labores cruzadas en profundidad (vertedera) y superficiales (cultivador), de tal forma que los surcos de labor quedaron dispuestos en la dirección de la pendiente.

Las parcelas experimentales utilizadas corresponden por su tamaño y características al tipo de parcela estándar que se utilizó para calibrar los distintos factores de la USLE (Wischmeier y Smith, 1978). Presentan una superficie total de 125 m², 25 m a favor de la pendiente y 5 m de anchura, y una pendiente media del 9%. Una descripción detallada de las instalaciones y de la instrumentación utilizada para el registro automático de la producción de escorrentía y sedimentos en las parcelas de erosión se recoge en De Alba *et al.* (1994).

b) Medición directa en campo de las pérdidas de suelo por reguercización y/o acarreamiento

La cuantificación de las pérdidas de suelo se realizó mediante la estimación del volumen ocupado por las redes de regueros y cárcavas. Para ello se realizaron en cada una de las laderas estudiadas diversas cartografías en detalle, de: (1) la topografía de la ladera, (2) los sistemas de canales de regueros y cárcavas, y (3) los límites de las superficies totales drenadas por éstos. Posteriormente se trazaron diversos transectos de control, más o menos paralelos entre sí y perpendiculares al eje principal del sistema de regueros, procediéndose con la medición de las secciones de cada uno de los canales en todos los puntos de intersección de éstos con los transectos (Figura 2). Los canales mostraban una sección característica en forma de "U", por lo que para la medición de las secciones se asimiló éstas a formas de polígonos irregulares, de las que se tomaron las medidas de longitud de los distintos lados. A partir de los datos tomados en campo se calcularon los volúmenes evacuados de suelo mediante el procedimiento de cubicación esquematizado en la Figura 3. En todos los casos, se tomaron muestras de suelo (cilindros) con objeto de determinar su densidad aparente y con ella transformar los volúmenes de suelo evacuado a unidades de peso. Por último las tasas de pérdida de suelo por unidad de superficie (t ha⁻¹) se calcularon en relación con la superficie total de la ladera drenada por cada uno de los sistemas de regueros. Es importante destacar que los métodos de campo utilizados no permitieron cuantificar las pérdidas ocasionadas por procesos de erosión difusa o arroyada superficial. Por lo tanto las tasas de erosión obtenidas deben ser consideradas como valores mínimos de pérdida de suelo, siempre inferiores a las tasas reales.

4. PÉRDIDAS DE SUELO EN UN EPISODIO DE LLUVIA DE ELEVADA INTENSIDAD: RIELVES 1995

El episodio de lluvia tuvo lugar el día 23 de Agosto de 1995 y correspondió a un fenómeno de tipo convectivo de desarrollo vertical, en el que apenas en 45 minutos se produjo una precipitación total estimada de

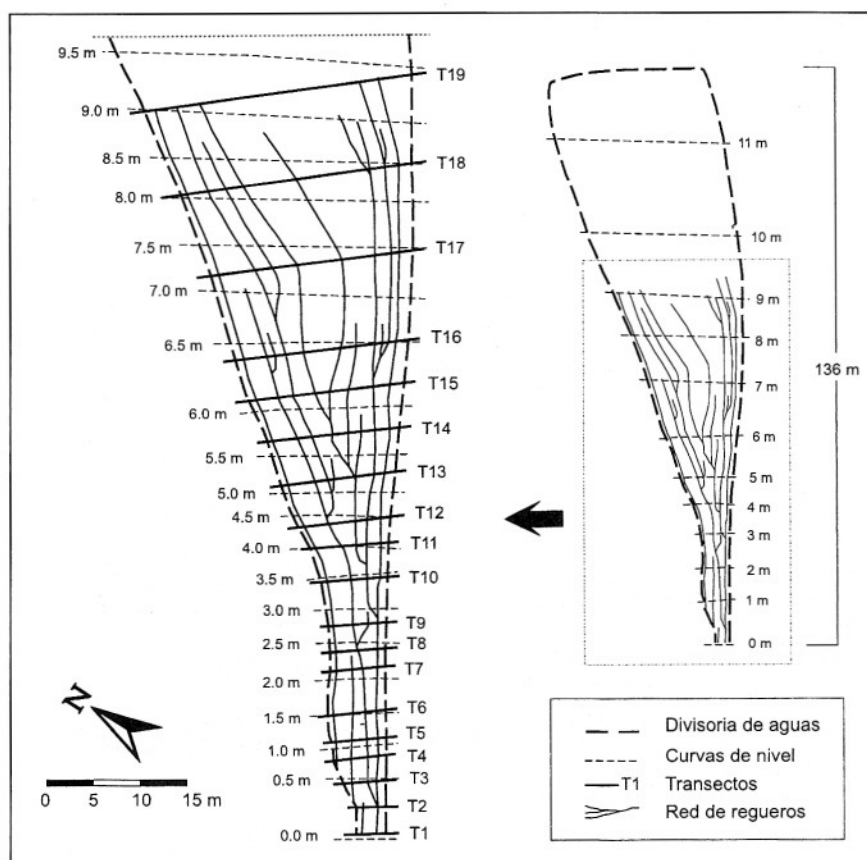


Fig. 2. Cartografía de un sistema de regueros y cárcavas efímeras en una ladera agrícola. Se indica la distribución de los transectos de control para la medición de la sección de los canales.

70 mm. Pese a no existir ninguna estación meteorológica en el área afectada, se pudo determinar la precipitación total caída a partir de varios pluviómetros instalados en fincas particulares. En cuanto al área afectada por la tormenta, al menos durante la fase de mayor intensidad, se estimó una superficie total muy reducida de apenas 18 km² situada a lo largo de la cuenca de un arroyo de aguas estacionales afluente del río Guadarrama. Como resultado de la tormenta se registraron un gran número de daños materiales producidos principalmente en construcciones, cultivos hortícolas y caminos ubicados en las zonas de vega, aunque nunca los daños llegaron a ser considerados como catastróficos. En cuanto a los procesos erosivos se observaron abundantes rasgos indicadores de importantes pérdidas de suelo tanto en las laderas como en los fondos de vaguadas y zonas de convergencia de la escorrentía superficial. En las laderas, la presencia de fenómenos de incisión lineal por reguerización o acarcavamiento se mostró asociada principalmente a suelos dedicados a barbecho y desprovistos de cubierta vegetal alguna; en el resto de los campos los procesos dominantes correspondieron a fenómenos de erosión difusa y arroyada superficial. Para este trabajo se seleccionaron cuatro parcelas de control en otras tantas laderas en las que se observó la presencia de sistemas de regueros y/o cárcavas efímeras. Las parcelas presentaron longitudes máximas de entre 29 y 136 m y pendientes medias del 8 al 18% y máximas de entre el 14 y 20%. En cuanto a la extensión de las parcelas, desde la divisoria de aguas hasta la base de la ladera, presentaron superficies totales de entre 560 y 3320 m².

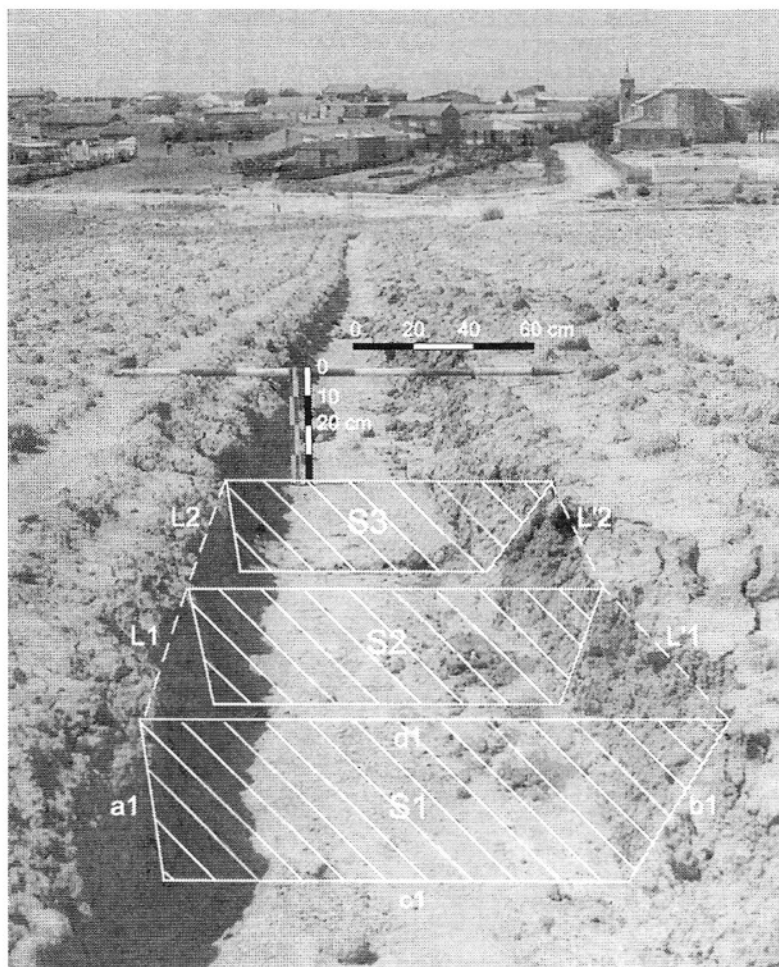


Fig. 3. Esquema de cálculo del volumen de suelo evacuado por los regueros. En la figura las distintas secciones del canal se asimilan a polígonos irregulares. A partir de la medidas obtenidas en campo se calcula el área (S_i) de las distintas secciones operando como sigue:

$$S_i = [(a_i + b_i)/2] \cdot [(c_i + d_i)/2]$$

como se conocen las distancias entre las secciones (L_i y L'_i), la cubicación del volumen ocupado por el reguero se realiza mediante la siguiente expresión:

$$V_{\text{total}} = \sum_{i=1}^{i=n} [(S_i + S_{(i+1)})/2] \cdot [(L_i + L'_i)/2]$$

Los resultados obtenidos a partir de la cubicación de los volúmenes ocupados por los sistemas de regueros indican pérdidas de suelo comprendidas entre 5 y 56 m³ en las distintas parcelas. Para el conjunto de parcelas la tasa media de pérdida de suelo resultó ser extraordinariamente elevada e igual a 351.2 t ha⁻¹. Por parcelas las tasas de erosión variaron entre 755 y 119 t ha⁻¹, que expresadas como valores medios equivalentes de rebajamiento de la superficie del suelo se sitúan entre 56.8 y 7.7 mm respectivamente.

5. ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE LOS EPISODIOS EXTREMOS

Con objeto de estimar los periodos de recurrencia de los episodios de elevada intensidad en Rielves se llevo a cabo un análisis de frecuencia aplicando la Ley de Gumbel para la distribución de valores extremos (Mutreja, 1986). Para ello se dispuso de los datos de precipitaciones acumuladas en 24 horas P_{24} de la estación meteorológica de Rielves (INM, estación n° 3287) para una serie de 24 años de 1947-1970. Los resultados del análisis se representan gráficamente en la Figura 4. A partir de esta figura se pueden obtener los periodos de retorno esperados para cada episodio de lluvia en función de su precipitación total P_{24} y la probabilidad de que en un año dado ocurra un episodio de precipitación superior a P_{24} .

Los resultados revelan una frecuencia relativamente elevada para episodios de lluvia equivalentes al de 1995 con una precipitación total de 70 mm, para los que se obtienen periodos de retorno inferiores a 9 años. Otros valores extremos registrados en la serie de 1947-70 tampoco alcanzan periodos de retorno excesivamente elevados, así por ejemplo para $P_{24} = 84$ mm (Mayo /1948) el periodo de retorno se sitúa próximo a 20

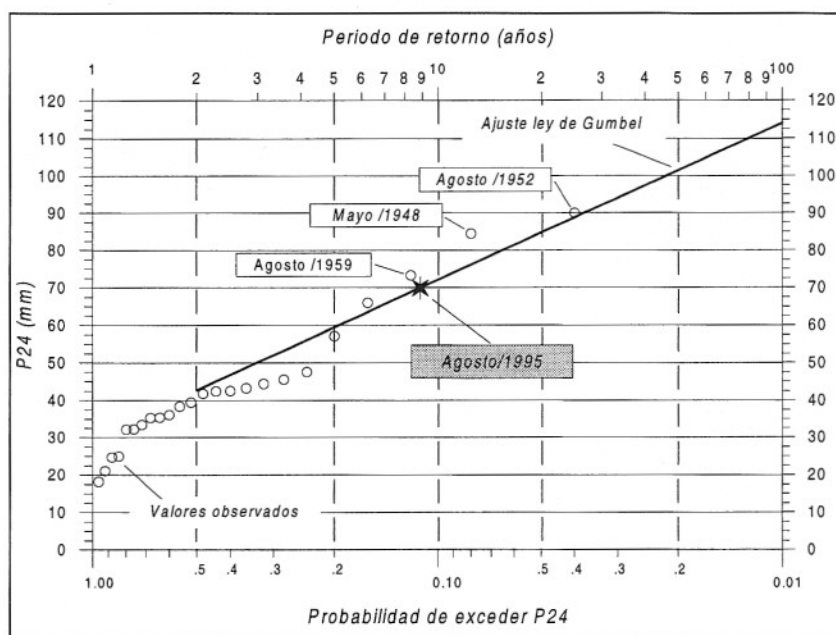


Fig. 4. Análisis de frecuencia de los episodios extremos de lluvia en Rielves (Toledo). En el eje superior se indican los periodos de retorno para episodios con precipitaciones acumuladas en 24 h (P_{24}) y en el eje inferior la probabilidad de que en un año se produzca una precipitación mayor de P_{24} .

años y para $P_{24} = 90$ mm (Agosto /1952) en un valor próximo a los 26 años. Mientras que para un periodo de retorno de 50 años la precipitación máxima esperada P_{24} asciende a 101 mm. Los valores máximos de P_{24} registrados en la serie corresponden a los meses de agosto (1952 y 1959) y mayo (1948) -Figura 4-, lo que indica una muy probable naturaleza de tipo convectiva para estos episodios y, por tanto, que dieran lugar a precipitaciones de elevada intensidad de forma similar al episodio de 1995. De este modo, queda en gran medida soslayada la carencia de registros de intensidades de lluvia para el análisis de frecuencia en lugar de los datos utilizados de P_{24} .

6. TASAS DE EROSIÓN EN EPISODIOS DE MODERADA Y BAJA INTENSIDAD Y DE ELEVADA FRECUENCIA

Durante la fase de seguimiento de la producción de sedimentos en parcelas experimentales (1993/94-1996/97), la precipitación anual media fue de 460 mm, con valores anuales comprendidos entre 275 y 573 mm. En este periodo se contabilizaron un número total de episodios de lluvia próximo a 325 eventos. En general se trató de episodios de moderada a baja intensidad de lluvia y con precipitaciones acumuladas en 24 h (P_{24}) siempre inferiores a 35 mm y tan sólo en tres ocasiones mayores de 30 mm. Las tasas de producción de sedimentos registradas en la parcela de barbecho mostraron una muy elevada variabilidad interanual, oscilando entre valores de 250 kg ha⁻¹ (1993/94) y 24000 kg ha⁻¹ (1996/97). Para todo el periodo considerado la tasa anual media corresponde a 7.3 t ha⁻¹ año⁻¹.

7. EFECTOS DEL EPISODIO EXTREMO -VERSUS- EPISODIOS DE MODERADA A BAJA INTENSIDAD

En la Figura 5 se representan gráficamente las tasas de pérdida de suelo obtenidas tanto para el episodio aislado de Rielves como para el periodo de experimentación en las parcelas de erosión. Los resultados muestran que las pérdidas de suelo ocurridas durante el episodio de elevada intensidad de Rielves equivalen a 48 veces la tasa de erosión anual media registrada en las parcelas experimentales. Incluso si se considera el periodo de retorno estimado para el episodio de Rielves, la tasa anual media equivalente de pérdida de suelo entre dos episodios sucesivos asciende a 39 t ha⁻¹ año⁻¹, es decir todavía resulta ser igual a 5.6 veces el valor registrado en la parcela de erosión.

8. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos revelan tasas anuales de erosión extraordinariamente elevadas para los campos agrícolas mantenidos en condiciones de barbecho mediante prácticas de laboreo convencional y, más concretamente, en los campos de agricultura extensiva del interior de la península bajo condiciones ambientales semiáridas.

Si se contabilizan conjuntamente las pérdidas de suelo medias anuales registradas en las parcelas experimentales (7.3 t ha⁻¹ año⁻¹) y las tasas equivalentes producidas durante los episodios de lluvia elevada intensidad (39.0 t ha⁻¹ año⁻¹), se obtiene una tasa de erosión anual de 46.3 t ha⁻¹ año⁻¹ (Figura 5). Esta tasa, expresada en términos de rebajamiento equivalente de la superficie del suelo, corresponde a rebajamientos medios anuales de entre 3.1 y 3.6 mm año⁻¹ (considerando densidades aparentes del suelo de 1.5 y 1.3 gr cm⁻³ respectivamente).

Se pone de manifiesto el papel predominante que juegan los episodios extremos de elevada intensidad de lluvia en la erosión de los suelos agrícolas, frente a los episodios de moderada y baja intensidad pero elevada frecuencia. En un sólo episodio tormentoso aislado la tasa media de pérdida de suelo alcanzó un valor igual a 48 veces la tasa de erosión media anual obtenida en las parcelas experimentales. De acuerdo con las tasas obtenidas, los episodios de elevada intensidad serían los responsables de más del 84% de las pérdidas de suelo medias anuales.

Todo ello indica que para una más correcta evaluación de las tasas reales y del riesgo de erosión se requiere de la caracterización de las precipitaciones de elevada intensidad y del análisis de frecuencia de estos episodios, además de la cuantificación de las pérdidas de suelo a las que dan lugar. Al mismo tiempo, la elevada variabilidad tanto temporal como espacial característica de los episodios extremos limita en gran medida la eficacia de las parcelas experimentales convencionales para determinar las tasas reales de erosión, debido tanto a la restricción de las observaciones al enclave físico concreto de las instalaciones como a la ne-

cesidad de largas series temporales de datos. En consecuencia, los autores proponen la puesta en marcha de programas sistematizados de mediciones directas en campo de las pérdidas de suelo producidas en episodios extremos de lluvia, de forma paralela a otros de seguimiento de los procesos erosivos en parcelas experimentales. Las diferentes técnicas de campo hoy disponibles permitirían, en plazos de tiempo relativamente reducidos, disponer de una amplia base de datos de pérdidas de suelo abarcando una gran variedad de ambientes y factores físicos: climatológicos, geomorfológicos, edafológicos, de vegetación, usos y sistemas de manejo, etc.

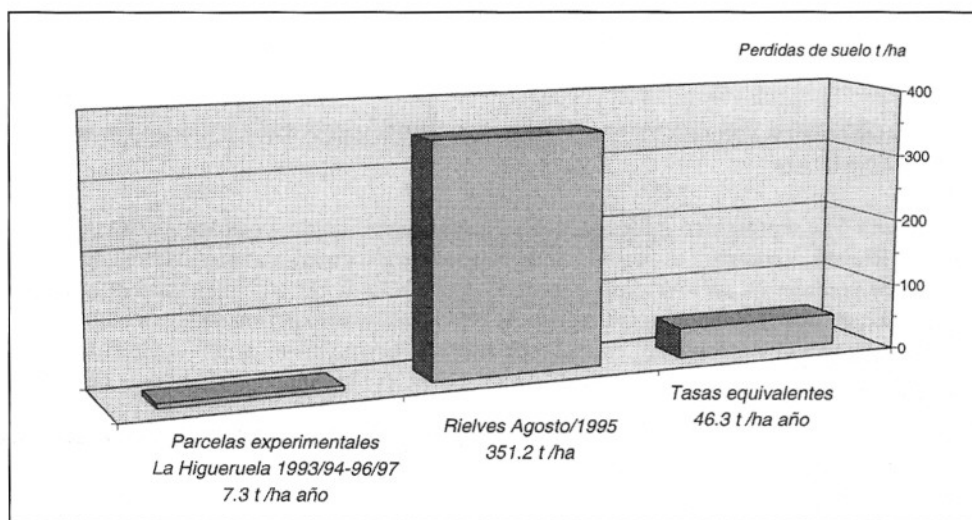


Fig. 5. Tasas de erosión medias anuales ($\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) obtenidas en parcelas experimentales en la Finca La Higuera, pérdida de suelo (t ha^{-1}) registrada en el episodio de elevada intensidad de Rieves/1995 y tasas de erosión equivalentes ($\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) si se consideran conjuntamente el promedio anual de la pérdida de suelo ocurrida en episodios extremos y la registrada en las parcelas experimentales.

AGRADECIMIENTOS

A Carlos Lacasta, director de la Finca Experimental La-Higuera (CCMA, CSIC), y al personal de dicha finca, por su colaboración en los trabajos de campo. La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto de investigación (Ref.:84/RN-9) "Procesos de degradación del suelo en ecosistemas agrícolas de ambiente mediterráneo", por el Servicio de Investigación Agraria de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha; y, a la financiación del Ministerio de Medio Ambiente en el marco de la "Red de cuencas y parcelas experimentales de seguimiento y evaluación de la erosión y la desertificación del Proyecto LUCDEME" (RESEL).

BIBLIOGRAFÍA

- BENITO, G., GRODEK, T. y ENZEL, Y. 1998. The geomorphic and hidrologic impacts of the catastrophic failure of flood-control-dams during the 1996-Biescas flood (Central Pyrenees, Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie*, (En prensa).

- CAPEL MOLINA, J.J. 1981. *Los climas de España*. Oikos-tau. Barcelona, pp. 429.
- DE ALBA S., LÓPEZ FANDO C. y PÉREZ GONZÁLEZ A. 1994. Erosión hídrica en sistemas agrícolas. Diseño experimental y resultados preliminares. En J. Arnáez Vadillo, J.M. García Ruiz, y A. Gómez Villar (Ed.). *Geomorfología en España*. Sociedad Española de Geomorfología. Logroño, pp. 55-68.
- FAO. 1989. *Leyenda del mapa mundial de suelos* de la FAO-UNESCO Soc. Esp. Ciencia del Suelo. Santiago de Compostela, pp. 201.
- GALLART F. y CLOTET N. 1988. Some aspects of the geomorphic processes triggered by an extreme rainfall event: The november 1982 flood in Eastern Pyrenees. En A.M. Harvey y M. Sala (Ed.). *Geomorphic processes in environments with strong seasonal contrasts. Vol II. Geomorphic systems*. Catena Supplement 13. pp. 79-96.
- GARCÍA RUIZ, J.M., WHITE, M.S., MARTÍ, C., VALERO, B., ERREA, M.P. y GÓMEZ VILLAR, A. 1996. *La catástrofe del Barranco de Arás (Biescas, Pirineo Aragonés) y su contexto espacio-temporal*. CSIC. Instituto Pirenaico de Ecología. Zaragoza, pp. 54.
- MARTÍN BONO, C. y PUIGDEFÁBREGAS, J. 1983. Consecuencias geomorfológicas de las lluvias de noviembre de 1982 en las cabeceras de algunos valles pirenaicos. *Estudios Geográficos*, 170-171: 275-290.
- MUTREJA, K.N. 1990. *Applied Hydrology*. Tata McGraw-Hill Publishing Co. Limited. New Delhi, pp. 959.
- PÉREZ CUEVA, A. y CALVO, A. 1984. Lluvias torrenciales y cambios geomorfológicos en una pequeña cuenca de montaña: el barranco de la Cuesta de la Vega (Valencia). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 10: 169-182.
- POESEN, J. y HOOKE, J.M. 1997. Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environments of southern Europe. *Progress in Physical Geography*, 21: 157-199.
- THORNES, J.B. 1976. *Semiarid erosional systems: case studies from Spain*. London School of Economics, Geographical Papers. London, pp. 79.
- WISCHMEIER, W.H. y SMITH, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses*. Agriculture Handbook n° 537. United States Department of Agriculture. Washington, D.C. pp. 58.