

EFFECTOS DE LA SUPERFICIE PROTEGIDA EN LA VARIACION DE LA PRODUCCION DE SEDIMENTOS

J. C. GONZALEZ HIDALGO

Departamento de Ecología, U. Alicante, Ap. 99, Campus S. Vicente

Resumen. Se analiza el efecto de la *Superficie Protegida* (porcentaje de superficie que disipa la Energía Cinética de la lluvia) en la erosión a lo largo de un gradiente de microparcels (4 x 2 m) y diferentes eventos de precipitaciones, en el semiárido aragonés (interior NE de España), mediante la aplicación del test de rangos de Spearman.

El comportamiento de la *Superficie Protegida* ante la erosión señala altos valores de correlación ($p < 0.01$) entre parcelas en dos conjuntos: parcelas con elevada protección (80 y 100 %) y parcelas con baja protección ($< 50\%$). Entre eventos de lluvia, el incremento de la precipitación produce correlaciones significativas ($p < 0.01$) en el orden de respuesta de las parcelas a partir de 15 mm, mientras que en precipitaciones inferiores por lo general los valores del coeficiente no son significativos.

Se sugiere que los efectos de la *Superficie Protegida* sobre la gradación de producción de sedimentos en microparcels de erosión dominadas por la salpicadura y rainwash, se acentúan con el aumento de la precipitación, haciéndose menos diferenciadas las respuestas erosivas en magnitud, así como más variables, en las precipitaciones menores. Por tal razón, las gradaciones espaciales de la erosión por salpicadura y rainwash son más predecibles en precipitaciones elevadas, mientras las respuestas erosivas son menos diferenciadas, pero menos predecibles, en precipitaciones poco cuantiosas.

Palabras Clave. Erosión; Variabilidad espacial; Semiárido; La Violada (Huesca, España)

Abstract. *Protected Surface* (surface ratio in which Kinetic Energy of rainfall is dissipated) effects on soil erosion processes are analyzed all along a range of microplots and during different rainfall events, by means of Spearman Rank Order Correlation Coefficient, in a semiarid area of Aragón, Spain.

Significant correlation coefficients ($p < 0.01$) were found between plots in two situations: plots with high values of protection (100 and 80 %), and plots with low protection ($< 50\%$). Between rainfall events, high precipitation values (> 15 mm) have significant correlation coefficients ($p < 0.01$), while low precipitations do not show significant correlations.

From this it can be deduced that the effects of *Protected Surface* on erosion in microplots, where splash and rainwash are the dominant processes, increase with increasing rainfall, but the erosion response is less differentiated in magnitude, and more variable, in low rainfall events. The spatial variations on soil erosion behaviour under splash and rainwash are more predictable when rainfall is high than in low rainfalls.

Key Words. Soil Erosion; Spatial variability; Semiarid; La Violada (Huesca, Spain)

1. Introducción

Tradicionalmente se acepta que la vegetación es el principal control de la erosión por procesos hídricos superficiales (Carson & Kirkby, 1972; Kirkby 1980, etc) y que la producción de sedimentos es función de la escorrentía superficial. Tal asunción implica aceptar que las condiciones bajo las que ocurre la erosión están controladas por la capacidad del transporte. Sin embargo, donde el control sobre los procesos de erosión se ejerce por la disgregación el reparto espacial de la producción de sedimentos estará en relación a los diferentes controles que operen sobre la disgregación por impacto de la gota de lluvia y el proceso de salpicadura.

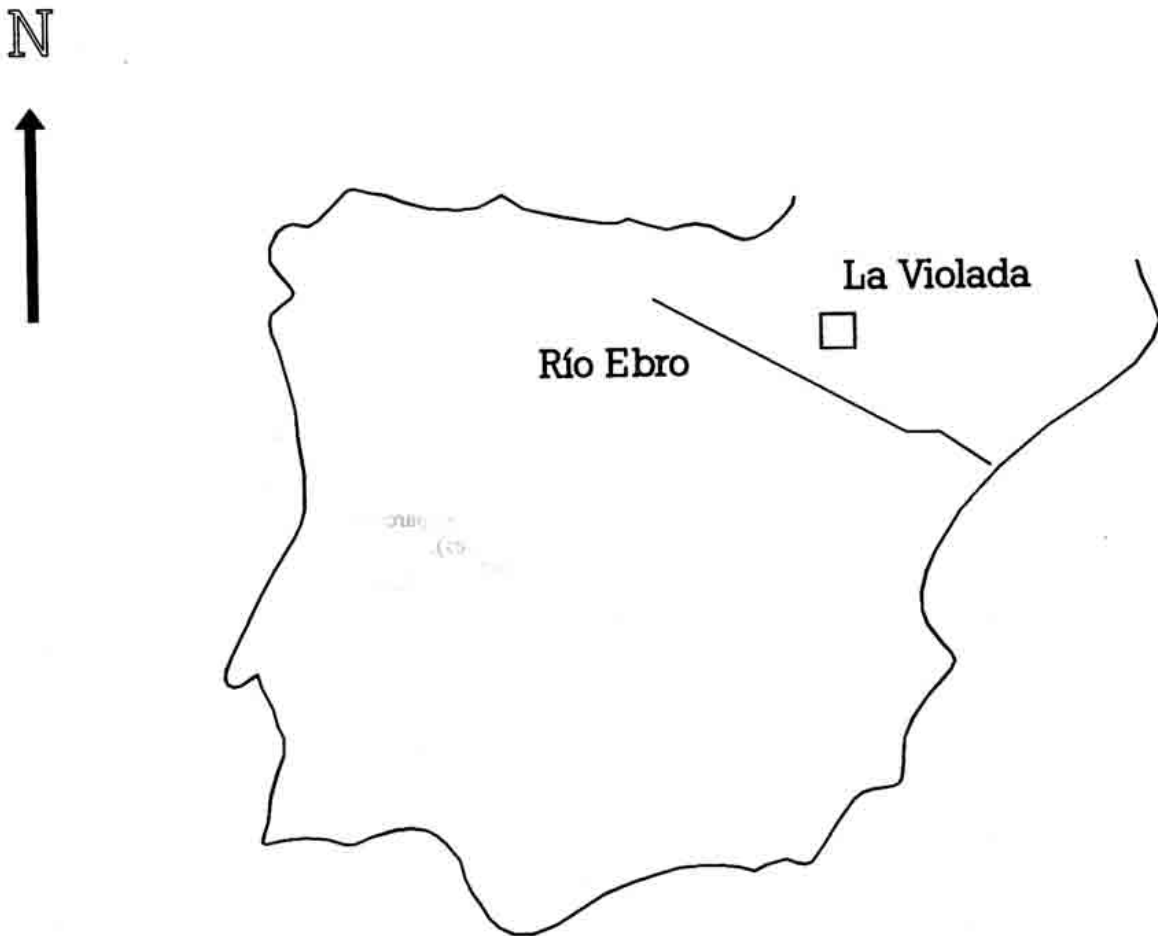


Fig. 1.- Localización de la zona de trabajo
(Study Area)

En el presente trabajo se analizan las variaciones en la producción de sedimentos por procesos hídricos superficiales mediante un diseño experimental que favorece los procesos de salpicadura y rainwash sobre la escorrentía, en dos supuestos. En el primer caso se estudia la respuesta erosiva a lo largo de un gradiente de protección del suelo; en segundo lugar, se analiza en dicho gradiente las variaciones erosivas en diferentes lluvias. El valor de protección del suelo se define en función de la variable *superficie protegida*, o suma de los porcentajes de superficie con vegetación y afloramientos de piedras (González Hidalgo 1992), a la cual se hace responsable de la pérdida de eficacia de la Energía Cinética liberada por la lluvia, origen de la disgregación y del proceso de salpicadura.

2. Area de Trabajo

La zona de trabajo se localiza en la margen izquierda de la Depresión Media del Ebro, y se conoce como Comarca de la Violada. Constituye una depresión periférica de borde de cuenca labrada sobre los materiales terciarios lábiles (margas y yesos) del Eoceno y Oligoceno (Figura 1).

Sus caracteres climáticos permiten encuadrar la zona en el dominio semiárido mediterráneo. Las precipitaciones anuales medias son del orden de 450 mm, con acusada variabilidad interanual. Presentan dos máximos, en primavera y otoño, aunque no se acusa una clara concentración estacional dado que todas las estaciones aportan al menos un 20 % de la precipitación anual. El régimen de temperaturas presenta fuertes variaciones intermensuales (4°C en Enero y 24° en Julio), siendo el valor medio de 12°C. La demanda potencial anual atmosférica es elevada, con 1400 mm (estanque A). En suma, existe un acusado déficit hídrico que condiciona una cubierta vegetal xerófila compuesta por formaciones arbustivas mediterráneas en las que predominan el *Rosmarinus officinalis*, *Genista Scorpius* y *Ononis tridentata* acompañadas de un cortejo de herbáceas en las que destaca por su abundancia el *Brachypodium retusum*.

3. Materiales y Métodos

Durante 18 meses (Febrero 1990 - Junio 1991) se ha seguido el registro de precipitación, escorrentía y producción de sedimentos en seis parcelas representativas de un gradiente de protección de la superficie en la estación destinada al estudio de procesos hídricos superficiales de la Violada (González Hidalgo & Echeverría, 1990).

Las parcelas de erosión son de pequeño tamaño. Sus dimensiones (4 x 2 m) no permiten aceptar los valores recogidos como estimaciones de tasas de erosión, pero sí pueden aceptarse para establecer comparaciones entre las distintas situaciones referidas a cada parcela (García-Ruiz, 1992; Albaladejo 1993), por lo que los resultados se consideran estimaciones válidas de la diferente intensidad de los procesos y mecanismos involucrados, especialmente, dada la escasa longitud de las parcelas, del proceso de salpicadura y de la combinación de ésta con el flujo en rainwash.

Tabla 1. Características de las parcelas
(Plot Characteristics).

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
C.V. (%)	100	80	60	20	0	0
Pedregosidad	0	0	0	30	15	0
S.P.	100	80	60	50	15	0
Pendiente	29	27	37	37	34	31

C.V. (%) Porcentaje de cubierta vegetal. S.P. Superficie Protegida (%). Valores de pendiente expresados en porcentajes. La Superficie protegida es la suma de la cubierta vegetal y la pedregosidad.

C.V. (%) Plant Cover. S.P. Surface Protected (%). Slope gradient in %. Surface Protected is the sum of plant and stone cover.

Las seis parcelas representan una gradación de *Superficie Protegida* entre el 0% y el 100%, definiéndose la variable como la suma de los porcentajes de cubrimientos vegetal y afloramientos de piedras, es decir representa la fracción de superficie sobre la que la liberación de Energía Cínética de la lluvia no es eficaz para disgregar sedimentos (vid González Hidalgo 1992 y González Hidalgo et al 1992). Su evaluación se realizó mediante la técnica del punto interceptado sobre una malla de 25 cm de lado, sumando los contactos y relacionándolos con el total de interceptaciones de la parcela 8 x 2 m. En consecuencia, el diseño experimental asume implícitamente que, a lo largo de dicha gradación, los efectos del proceso de salpicadura se aminoran con el aumento del valor de la variable citada (mayor protección). No se contemplan los previsibles efectos que se puedan producir sobre la escorrentía los afloramientos de rocas incluídos en la variable, pero al ser principalmente afloramientos de sustrato se entiende que su comportamiento sigue al de los cantos embebidos (véase Poesen e Ingelmo 1992). En la Tabla 1 se muestran las características generales del conjunto de parcelas.

Las precipitaciones se registraron mediante el empleo de un pluviógrafo de sifón con intervalos de lectura cada 10 minutos y una batería de 20 pluviómetros; en cada evento de precipitación se evaluaron los volúmenes promedio y la de Energía Cinética liberada; ésta se calculó mediante relación semilogarítmica, empleando los parámetros de ajuste propuestos por Zanchi & Torri (1980). La Energía Cinética liberada por mm de precipitación ($J m^{-2}$) se estimó como una valoración global de la agresividad de cada evento.

Por motivos logístico, la recogida de sedimentos se realizó tras cada evento, considerando un evento la sucesión de períodos de precipitación de 24 horas con lluvia superior a 0.1 mm (Whittow, 1984). Su ulterior estudio mediante las bandas del pluviógrafo permitió aislar el umbral de precipitación productora de escorrentía.

El total de sedimentos recogido en cada colector y en cada evento fue secado y pesado, calculándose el promedio de exportación por unidad de superficie en cada parcela ($g m^{-2}$). Los valores se consideran como estimaciones de la exportación neta producida en las superficies definidas en el área de trabajo (parcela), desconociéndose los efectos internos de remoción y transporte por salpicadura y arroyada. No obstante, se pueden aceptar que en las parcelas con máxima protección (100 % y 80 %) el sedimento se producirá fundamentalmente por transporte del flujo (incluyendo su efecto disgregador sobre el suelo) siendo muy escasa o nula la participación de la salpicadura al disiparse la Energía Cinética de la lluvia bajo cubierta vegetal. Por su parte, en las parcelas con menor valor de protección (0 % y 15 %) se puede aceptar que los sedimentos provienen del mecanismo conjugado de salpicadura y arroyada (rainwash, Morgan 1986a) existiendo una previsible gradación entre las restantes parcelas acorde el grado de protección.

Para comprobar la gradación espacial y temporal de los efectos de la superficie protegida sobre la producción de sedimentos, los resultados obtenidos en las parcelas y eventos de precipitación fueron sometidos a la prueba no paramétrica de rangos de Spearman (Clarck & Hosking 1986 pp. 315-316) según notación

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n D_i^2}{N(N^2 - 1)}$$

siendo N el número de muestras, r_s el coeficiente de correlación de rangos y D_i la diferencia de rangos en cada situación.

En el primer caso se ordenaron en cada parcela los diferentes eventos según su producción de sedimentos (1 evento de menor producción), a fin de obtener la correlación entre parcelas a lo largo de los eventos de lluvia. En el segundo caso se ordenaron los valores de las seis parcelas en cada uno de los eventos productivos de sedimentos (1 parcela de menor producción), para obtener la correlación entre eventos del comportamiento de las parcelas. Los resultados de la prueba se han interpretado como posibles indicadores de la existencia o ausencia de gradación (jerarquización) espacial de la respuesta erosiva en función de la naturaleza de cada parcela (grado de protección), así como para estudiar las respuestas de cada situación espacial (parcela) al variar las características de la precipitación de cada evento (principalmente volumen y agresividad). Los valores de la prueba se compararon con el valor crítico del estadístico t en el umbral de significación 0.01 según

$$t = r \sqrt{\frac{(N-2)}{(1-r^2)}}$$

siendo t el valor crítico elegido (según tablas t de Student), N el número de casos, y r el valor del coeficiente de correlación de rangos.

4. Resultados

Durante los 18 meses de estudio se han contabilizado un total de 11 eventos de precipitación y flujo con producción de sedimentos. Los flujos de los días 6 de abril, 30 de septiembre, 30 de noviembre, 14 de diciembre en 1990 y el 18 de abril en 1991 no produjeron sedimentos. En estos casos la precipitación fue muy variable y en casos muy cuantiosa (18 de abril 1991), aunque en todos ellos la energía total liberada fue inferior a 200 J m^{-2} (datos del 18 de abril perdidos) o se produjo en rachas de precipitación inferiores al umbral de escorrentía. El estudio de precipitaciones diarias permite evaluar dicho umbral en el área de trabajo en torno a 8 mm de precipitación, semejante al observado en ambientes semiáridos nacionales y extranjeros (Bryan & Campbell, 1986; Romero et al 1986; Yair & Enzel 1987; Zanchi 1988; Gómez Amelia y Schnabel, 1992).

Tabla 2. Sedimento, Precipitación y Energía Cinética de cada evento.
(Soil loss, rainfall, and Kinetic Energy per event).

Días	P	P1 (100)	P2 (80)	P3 (60)	P4 (50)	P5 (15)	P6 (0)	KE
22-7	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	5.6	126.0
17-7	9.8	2.1	5.6	3.8	3.5	23.7	16.4	164.0
9-4	11.4	0.8	2.8	17.4	5.4	20.3	15.8	231.0
15-6	11.6	0.8	1.1	0.0	19.4	66.9	58.9	236.0
25-5	15.0	0.0	1.5	0.0	10.0	26.4	51.6	309.0
11-9	18.7	1.1	4.5	31.2	13.8	116.4	233.6	404.0
21-11	21.2	1.4	4.4	49.6	36.4	53.3	378.6	543.0
12-6	22.7	1.1	2.3	33.7	17.1	70.9	60.6	427.0
18-10	26.6	3.4	11.1	0.0	49.7	269.2	529.0	700.0
25-3	45.7	4.4	10.9	31.5	14.5	77.0	77.5	679.0
23-10	52.6	0.0	4.4	75.0	86.8	244.4	389.1	1232.0
Total		15.1	48.6	242.4	256.6	979.4	1,816.7	

KE, Energía Cinética total del evento (J m^{-2}); P, precipitación en mm; P1, P2, P3, P4, P5, P6, parcelas de sedimento, los números entre paréntesis indican el porcentaje de superficie protegida (véase Tabla 1). Valores de Sedimento en g m^{-2} .

Ke, Total Kinetic Energy (J m^{-2}). P, rainfall in mm; P1, P2, P3, P4, P5, P6, erosión plots, numbers in brackets indicate porcentaje of surface protected (see Table 1); soil loss in g m^{-2} .

Los arrastres de las seis parcelas por cada evento (g m^{-2}) junto a la precipitación que los produjo y la Energía Cinética evaluada se muestran en la Tabla 2. No todos los eventos erosivos fueron productivos en las seis parcelas.

El máximo del período corresponde a la parcela cuya superficie protegida es 0 % con una exportación neta 1816 g m^{-2} , y el mínimo corresponde a la parcela con protección total (100 %), siendo su exportación neta de 15 g m^{-2} .

Las manifestaciones erosivas se concentran en un corto número de eventos; en cada parcela los tres sucesos de mayor magnitud suponen un valor en torno al 65 % del total exportado, siendo el porcentaje de lluvia en dichos eventos el 25 % del total anual. En la Tabla 3 se muestran los valores porcentuales de los sedimentos acumulados en tales eventos sobre el total del período, indicándose que los días de los eventos no coinciden entre parcelas.

La menor concentración se observa con una protección del 80 %, y la mayor en la parcela sin protección, en la que tres eventos alcanzan el 71 % de la exportación total del período. Los resultados de la parcela con 100 % de protección son irrelevantes dados sus ínfimos valores.

En el área de trabajo los eventos erosivos parecen ser independientes entre sí, por lo que el lapso entre ellos no constituye un factor de diferencia entre los mismos en contra de la opinión de otros trabajos (Le

Roux y Ross, 1986; Imeson, 1983). Un caso especial lo constituye el evento máximo (18 octubre), en el que la precipitación fue intensa y cuantiosa (Tabla 2), y la magnitud de los arrastres y las características de la precipitación hacen suponer la presencia de fenómenos semejantes a los descritos por Savat y De Ploey (1982), y Palacio & Vázquez (1990) en relación a la génesis de regueros (rills) mediante mecanismos de licuefacción. De hecho, en la parcela sin protección P6 se hizo evidente la aparición de una cicatriz longitudinal. Este mismo razonamiento en situación muy semejante ha sido retomado por La Roca et al (1988) en el levante español, que en parte ayudaría a explicar la ausencia de una fuerte relación entre los sedimentos con la precipitación, fenómeno ya constatado en otras ocasiones en medios semejantes (Imeson, 1983; La Roca et al., 1988; Romero et al., 1988; López Bermúdez & Romero, 1989; Yair, 1990).

Tabla 3. Concentración de Procesos de Erosión. Porcentaje de sedimento de los tres eventos máximos sobre el total de sedimentos del período de estudio. Para la localización de los tres eventos máximos en cada parcela consúltese la Tabla 2. S.P. Superficie Protegida.

(Soil Erosion Processes concentration. Percentage of three maximum events sediment loss over total erosion in study period. See Table 2 for individual events. S.P. Surface Protected. Evento, Rainfall event).

S.P.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
	100	80	60	50	15	0
Evento 1	29.0	23.3	30.9	33.8	27.5	29.1
Evento 2	51.3	45.4	51.4	51.3	52.4	50.5
Evento 3	65.0	56.9	65.3	65.1	64.3	71.3

En la Tabla 4 se muestran los valores de la prueba de rangos en la comparación entre parcelas de los sedimentos producidos. Valores más elevados del coeficiente expresan que el orden de producción de sedimentos en cada pareja de parcelas es similar en los 11 eventos de lluvia, mientras coeficientes bajos indican lo contrario.

Tabla 4. Variaciones del comportamiento entre eventos por Parcela. Coeficientes de Correlación de Spearman.

N = 11; Intervalo crítico ± 0.596 (0.05) y ± 0.725 (0.01). Se subrayan los coeficientes significativos en intervalo 0.05, y en negrita en intervalo 0.01. En cada parcela se ordenan los eventos según orden de magnitud de menos a más.

(Intraplot variation in soil losses. Spearman Rank Order Correlation Coefficient. N = 11; limits ± 0.596 (0.05) and ± 0.725 (0.01). Underlined coefficient $p < 0.05$; bold coefficient $p < 0.01$. In each plot events are ranked from minus to maximum).

	P1	P2	P3	P4	P5
P2	<u>0.77</u>				
P3	0.17	0.28			
P4	0.16	0.31	0.43		
P5	0.33	<u>0.60</u>	0.33	0.80	
P6	0.36	<u>0.60</u>	0.46	0.89	0.90

El comportamiento ha sido semejante en las parcelas P1 y P2 de mayor protección siendo su coeficiente significativo (r 0.77, sig 0.01). Otro tanto ocurre con las tres parcelas menos protegidas, P4, P5 y P6 (r 0.80, 0.89 y 0.90, sig. 0.01). Los cruces con la parcela P3 (50 % de superficie protegida) no resultaron significativos en caso alguno. Del mismo modo no se han encontrado significativos los cruces entre las parcelas del primer grupo (P1 y P2) con las del segundo (P4, P5, P6).

Es notable señalar que existen correlaciones significativas cuando se rebaja el umbral crítico (0.05) en la parcela P2 (80 % de protección), respecto a las dos parcelas menos protegidas P5 y P6, quizá debido a

Superficie protegida y producción de sedimentos 71

la recogida en los colectores de dicha parcela P2 de ramas y hojarasca cuyo peso hayan podido alterar el orden diario de producción de sedimentos por la escasa cuantía de los mismos en esta parcela.

En la Tabla 5 se muestran los valores del coeficiente de rangos en los 11 eventos erosivos. Cada coeficiente expresa la relación entre pares de eventos de lluvia del rango de producción de sedimentos de las seis parcelas. Los valores cuanto más elevados indican que el orden de la respuesta erosiva en las seis parcelas ha sido semejante; mientras, los coeficientes bajos indican lo contrario. En consecuencia, los valores del coeficiente se estima que representan el efecto de la superficie productiva sobre las respuestas erosivas en un gradiente pluvial.

Tabla 5. Variaciones del comportamiento entre parcelas por Eventos. Coeficientes de Correlación de Spearman. N = 6; Intervalo crítico ± 0.789 (0.05) y ± 0.895 (0.01). Se subrayan las correlaciones significativas (0.05) y en negrita (0.01). Entre paréntesis valores de Energía Cinética por mm de precipitación. (*) El valor de Energía Cinética por mm del evento es 29.

(Interplot variation in sediment losses per Event. Spearman Rank Order Correlation Coefficient. N = 6; limits ± 0.789 (p <0.05) and ± 0.895 (p <0.01). Underlined coefficient p <0.05; bold coefficient p <0.01. In each event plot are ranked from minus to maximun. In brackets KE per mm of rainfall. (*) Kinetic Energy per mm in event is 29).

P	9.6 (13)	9.8 (17)	11.4 (20)	11.6 (20)	14.9 (21)	18.7 (21)	21.1 (26)	22.7 (18)	26.5 (26)	42.4 (16)
9.8	<u>0.84</u>									
11.4	0.67	0.71								
11.6	<u>0.84</u>	0.71	0.42							
14.9	<u>0.78</u>	0.72	0.43	0.92						
18.7	0.77	0.77	<u>0.82</u>	0.60	0.75					
21.1	0.77	0.77	<u>0.82</u>	0.60	0.75	1.00				
22.7	<u>0.84</u>	<u>0.82</u>	0.92	0.65	0.69	0.94	0.94			
26.5	0.77	0.65	0.31	0.94	0.98	0.65	0.65	0.60		
42.4	0.77	0.77	<u>0.82</u>	0.60	0.75	1.00	1.00	0.94	0.65	
52.5 *	0.77	0.71	0.71	0.77	0.89	0.94	0.94	<u>0.88</u>	<u>0.82</u>	0.94

En general se observa que el aumento de la precipitación incrementa la regularidad espacial de la producción de sedimentos según el porcentaje de superficie protegida. Por tal razón, es en el conjunto de lluvias superiores a 15 mm donde mejores resultados se obtienen en el coeficiente de correlación de rangos. No obstante, no todos los cruces son significativos, y además si se rebaja ligeramente el umbral de significación estadística a 0.05, en las precipitaciones menores hay numerosos casos con coeficientes de correlación significativos.

En suma, el aumento de la precipitación parece acentuar el efecto de la superficie protegida sobre la gradación espacial de la respuesta erosiva. El hecho implica que el factor que diferencia las parcelas (superficie protegida) acentúa sus efectos sobre la ordenación espacial de la erosión con el aumento de la precipitación, y en consecuencia la jerarquía espacial de producción de sedimentos (diferencias en la masa del sedimento) se afianza al aumentar la precipitación.

En precipitaciones inferiores la pauta que parece descubrirse es más heterogénea; la parcela con 0 % de superficie protegida (P6) no siempre es la que produce mayor cantidad de sedimentos, y los valores de correlación en muchos casos no son significativos (Tabla 5). De este modo, puesto que la variable que ordena las parcelas en el diseño (superficie protegida) está en estrecha relación con el proceso de salpicadura, los resultados tienen consistencia con trabajos previos en los que se señala que el proceso de salpicadura es más activo con bajas precipitaciones e imprime un alto grado de heterogeneidad espacial a la respuesta erosiva. (Luk, 1977; Bolline, 1980; Poessen & Savat, 1980; Laronne, 1982; Van Asch, 1983; Morgan, 1986 b).

Junto a las gradaciones por volumen, los resultados permiten ver que la agresividad pluvial, medida en liberación de Energía Cinética por mm de precipitación, es un segundo factor a considerar. El caso más

señalado lo constituye el evento de 26.5 mm cuyo valor de coeficiente es significativo respecto a las precipitaciones en torno a 10-15 mm de mayor intensidad, pero no lo es con las precipitaciones superiores.

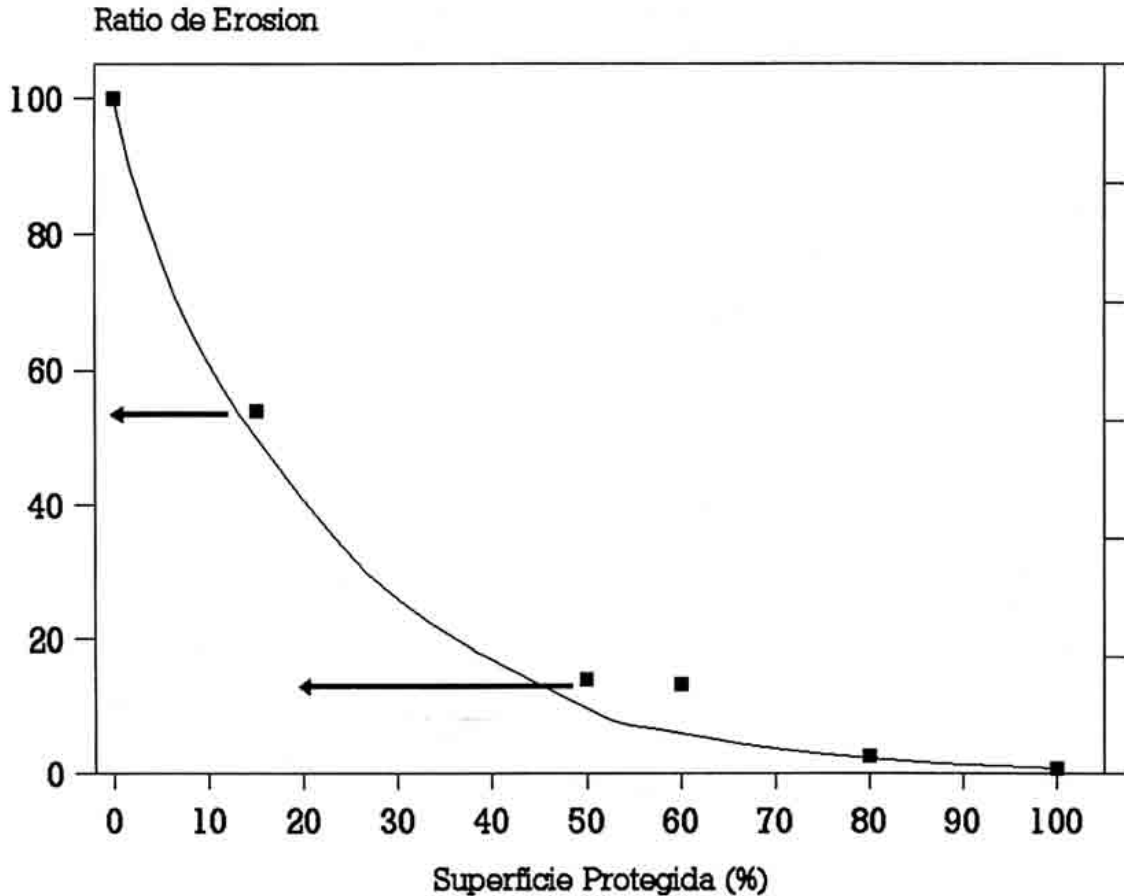


Figura 2. Variaciones Espaciales en la Producción de Sedimentos producidas por la Superficie Protegida. Valores expresados en ración de sedimento
(Spatial Variation on soil losses by Surface Protected. Values expressed as sediment ratio).

5. Discussion

En condiciones controladas por la capacidad de transporte las variaciones espaciales de la producción de sedimentos quedan definidas por una relación exponencial (Elwell & Stocking, 1976) bajo la notación:

$$SR = K * e^{-b * \% \text{ vegetación}}$$

con K y b parámetros de ajuste, y SR la ratio de sedimento, o proporción de sedimento sobre suelo desnudo, que expresa empíricamente el efecto conjugado de la cubierta vegetal sobre los mecanismos erosivos, y admite tácitamente que en condiciones de suelo desnudo la erosión se produce en su máxima capacidad, definida por factores ambientales (Thornes 1987). Bajo tales condiciones Francis & Thornes

(1990) han señalado que los efectos de este control, ejercido por mediación de la vegetación, se acentúan en precipitaciones menores y a baja intensidad, mientras que se aminoran (al menos en magnitud de sedimento y flujo) en caso contrario.

La modificación sugerida por inclusión de la superficie protegida matiza el modelo empírico previo, en tanto que la ausencia de vegetación no implica que se produzca aumento de la erosión cuando en superficie aparecen elementos que resisten la agresividad pluvial (piedras) y aminoran el proceso de preparación por disgregación del material. Esta situación se expresa en la Figura 2 en la que se muestra el ajuste del total de sedimentos producidos durante el período de estudio en las seis parcelas según la superficie protegida, señalándose mediante flechas la posición que tendrían las parcelas P5 y P4 en caso de considerar sólo la fracción con vegetación (véase Tabla 1). Los valores de la figura se expresan en la ratio de erosión señalada.

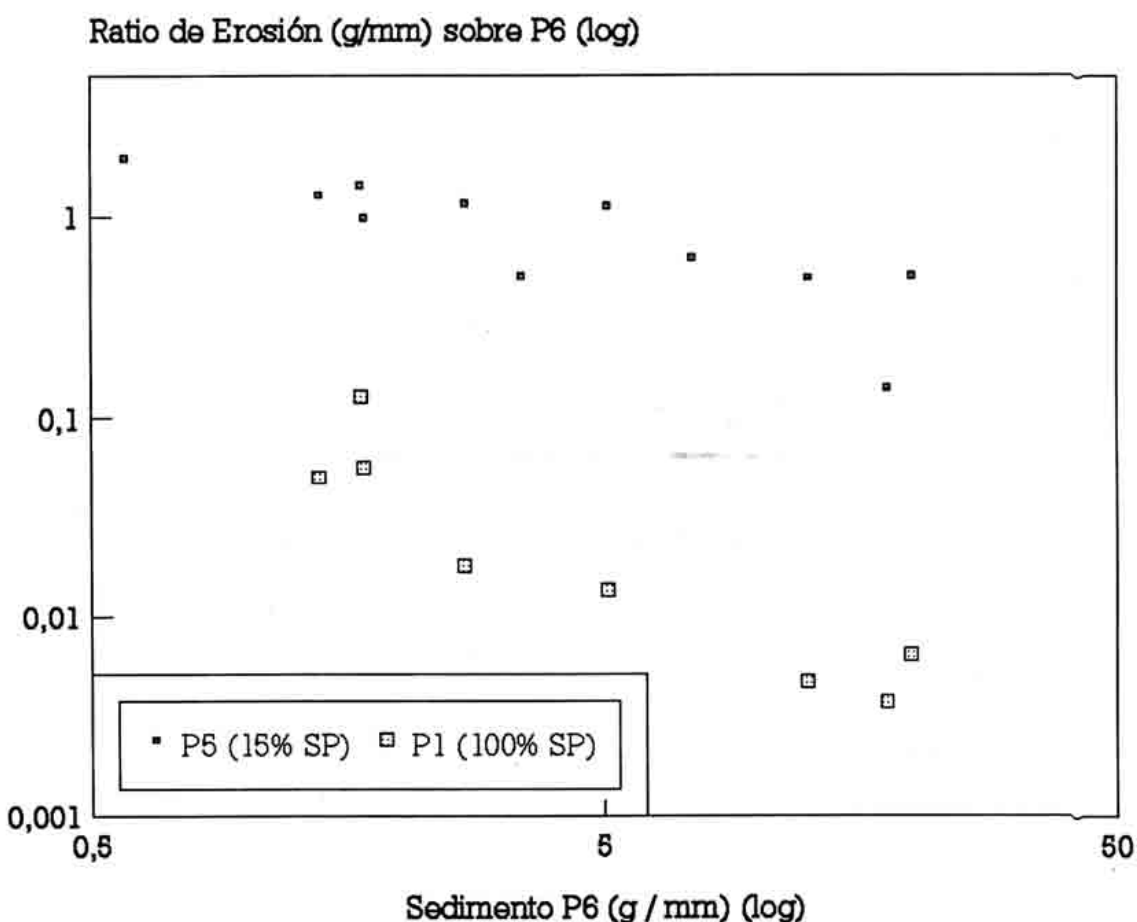


Figura 3. Producción relativa de sedimentos en dos porcentajes de *Superficie Protegida* a lo largo de un gradiente de eventos respecto al suelo desnudo. P5 (15 % SP) y P1 (100 % SP) en ratio sobre valores de P6 (0 % SP).

Valores en g mm^{-1} de precipitación respecto al suelo desnudo (P6) en g mm^{-1} . Véase Tabla 2.
 (Sediment relative production in two percentage of *Surface protected* along events gradient of rainfall respect to bare soil. P5 (15 % SP) and P1 (100 % SP) are expressed as ratio to P6 (0 % SP). Values in g mm^{-1} of rainfall respect to bare soil (P6) in g mm^{-1} . See Table 2).

En este gradiente global, la homogeneidad interespacial parece mantenerse en dos situaciones extremas de máxima y mínima protección (Tabla 4). Este hecho unido al diferente comportamiento de las respuestas dadas en los órdenes de magnitud de ambos grupos, permite descubrir un umbral en torno al 50 % de protección (P4) que define dos dominios distintos en el comportamiento erosivo, y coincide con valores detectados por Elwell & Stocking (1976) y Thornes (1985, 1987) en relación a la vegetación, Box (1981) en relación a la pedregosidad superficial) y Le Roux y Ross (1987) en la conjunción de ambos factores.

En segundo lugar los efectos de la variable estudiada no se mantienen homogéneos en el tiempo y se ven afectados por la cuantía de la precipitación y su agresividad.

El incremento de la precipitación da lugar a una gradación de la producción de sedimentos muy clara que es atribuible a la arroyada y a la arroyada-salpicadura (rainwash) en el gradiente de parcelas, pero las diferencias en el espacio de la erosión por efecto de la *Superficie Protegida* se aminoran con el descenso de la precipitación, dando lugar a respuestas erosivas menos diferenciadas en magnitud, así como menos previsible en función del valor de la *Superficie protegida*.

En la Figura 3 se muestra la situación descrita. Los datos relacionan el valor del sedimento de las parcelas P5 (80 %) y P1 (100 %) respecto a la parcela P6 (0 % de superficie protegida), expresándose de forma relativa los valores del sedimento en g mm^{-1} de precipitación bruta en ambas parcelas, respecto al valor del sedimento en g mm^{-1} de la parcela P6 (véase Tabla 2). La Figura indica que la gradación de la producción de sedimentos entre parcelas se hace más regular respecto al suelo desnudo al aumentar la precipitación (véase Tabla 5). Es notable indicar que en las precipitaciones inferiores la producción de sedimentos de algunas parcelas supera el valor de la parcela P6 con 0 % de Superficie Protegida.

6. Conclusiones

Los efectos sobre la gradación erosiva en el espacio de la variable *Superficie Protegida* se observan en las precipitaciones más elevadas; las respuestas espaciales se hacen menos diferenciadas en magnitud, pero más variables y erráticas cuando la precipitación es escasa. Por tal razón las gradaciones en el espacio de la erosión son más predecibles en precipitaciones más cuantiosas, y la salpicadura incrementa la heterogeneidad del reparto de la erosión en el espacio en lluvias menores, especialmente en valores <50 % de protección.

La relación de magnitud en la producción de sedimentos entre parcelas de distinta protección no es constante, sino que varía en función de la cuantía del evento.

Agradecimientos. El trabajo de campo ha sido financiado mediante una Beca de Doctorado por parte del Gobierno Regional de Aragón (DGA-CONAI) y el Laboratorio de CC TT HH GG de la Universidad de Zaragoza. El autor agradece a las mencionadas instituciones las facilidades recibidas, así como también las sugerencias propuestas por dos Revisores anónimos al manuscrito original.

Referencias Bibliográficas

- Albaladejo, J. (1993): Methodologies for the experimental evaluation of soil loss. En *Seminario sobre desertificación en condiciones ambientales mediterráneas*, Comisión CC.EE, Alicante.
- Box, J. (1981): The effects of surface stony slaty fragments on soil erosion by water. *Soil Sc. Soc. Am. Jour.*, 45: 111- 116.
- Bryan, R.B. & Campbell, I.A. (1986): Runoff and sediment discharge in a semiarid ephemeral drainage basin. *Zeit. für Geomorph., NF, Supp. B*, 58: 121-143.
- Carson, M.A. & Kirkby, M.J. (1972): *Hillslope form and processes*. Cambridge U. Press, Oxford, 475 p.
- Clarck, W.A. & Hosking, P.L. (1986): *Statistical methods for geographers*. JW & Son, Nueva York, 518 p.
- Elwell, H. & Stocking, M. (1976): Vegetal cover to estimate soil erosion hazard in Rhodesia. *Geoderma*, 15: 61-70.
- Francis, C. & Thornes, J. B. (1990): Runoff hydrograms from three mediterranean vegetation cover types. En JB THORNES (Ed). *Vegetation and Erosion*: 363-384.

- García Ruiz, J.M.** (1992): Medidas de flujo de agua y sedimentos a escala de parcela. En *Métodos y Técnicas para el estudio de procesos de erosión*, CSIC-Centro CC MM AA, Madrid.
- Gómez Amelia, D. & Schnabel, S.** (1992): Procesos sedimentológicos e hidrológicos en una pequeña cuenca bajo explotación de dehesa en Extremadura. En F. López Bermúdez et al (Eds) *Estudios de Geomorfología en España*: 55-63.
- González Hidalgo, J. C.** (1992): La Superficie Productiva Util en el arrastre de sedimentos. En F López Bermúdez et al (Eds) *Estudios de Geomorfología en España*: 65-73.
- González Hidalgo, J. C. & Echeverría, M. T.** (1990): Cuantificación de procesos de erosión en el sector semiárido aragonés. Conceptualización e instalación de una estación experimental. *Rev. Azara*, 2: 21-32.
- González Hidalgo, J.C.; Echeverría, M.T.; Pellicer, F.; Vallejo, R.; Bellot, J.** (1992): Pautas espaciales y temporales de la distribución de la erosión hídrica en el sector central del Valle del Ebro. En F. López Bermúdez et al (Eds). *Estudios de Geomorfología en España*: 75-82.
- Imeson, A.** (1983): Studies of erosion thresholds in semi-arid areas: field measurements of soil loss and infiltration in northern Morocco. *Catena Supp.*, 4: 79-89.
- Kirkby, M.J.** (1980): The problem. En M.J. Kirkby & R.P.C. MORGAN (Eds). *Soil erosion*: 1-16.
- La Roca, N.; Cabrelles, J. L.; Dupré, M.; Fumanal, M.P.; Quiles, X.; Torregrossa, A.; Viñals, M.J.** (1988): Arroyada superficial y erosión. Estación experimental de Requena, Valencia. *Cuaternario y Geomorfología*, 2 (1-4): 43-55.
- Laronne, J.** (1982): Sediment and solute yield from Mancos Shale hillslopes, Colorado and Utah. En R.B. Bryan and A. Yair (Eds). *Badland geomorphology and pipping*: 181-193.
- Le Roux, J. & Roos, Z.** (1986): Wash erosion on a debris covered slope in a semiarid climate. *Zeit. für Geom.*, 30 (4): 477-483.
- López Bermúdez, F. & Romero, M. A.** (1989): Pipping erosion and badlands development in south-east Spain. *Catena Supp.*, 14: 59-73
- López Bermúdez, F.; Romero, M. A. & Martínez, J.** (1991): Soil erosion in a semiarid mediterranean environment. El Ardal experimental field (Murcia, Spain). En M. SALA et al (Eds). *Soil erosion studies in Spain*: 137-152.
- Luks, S.** (1977): Rainfall erosion of some Alberta soils; a laboratory simulation study. *Catena*, 3: 295-309.
- Morgan, R. P. C.** (1986 a): The relative significance of splash, rainwash and wash as processes of soil erosion. *Zeit. für Geom.*, 30 (3): 329-337.
- Morgan, R. P. C.** (1986 b): *Soil Erosion and Conservation*. Longman, Harlow, 298 p.
- Palacio, J. L. & Vázquez, L.** (1990): Relative importance of modelling processes in badland slopes. An example in central Mexico. *Zeit. für Geomorph. NF*, 34, (3): 301-306.
- Poesen, J. & Ingelmo, F.** (1992) Runoff and sediment yield from topsoils with different porosity as affected by rock fragment cover and position. *Catena*, 19: 451-474.
- Romero, M. A.; López Bermúdez, F.; Thornes, J. B.; Francis, C.; Fisher, G. C.** (1988): Variability of overland flow erosion in a semiarid mediterranean environment under matorral cover, Murcia, Spain. *Catena Supp.*, 13: 139-146.
- Savat, J. & Ploey J. de** (1982): Sheetwash and rill development by surface flow. En R.B. Bryan and A. Yair (Eds). *Badland geomorphology and pipping*: 113-126.
- Thornes, J. B.** (1985): The Ecology of erosion. *Geography*, 70: 222-236.
- Thornes, J. B.** (1987): Erosional equilibria under grazing. En J. Blinttif et al (Eds). *Conceptual Issues in Environmental Archeology*: 193-310.
- Van Asch, Th. W. J.** (1983) Water erosion on slopes in some land units in a mediterranean area. *Catena*, 4: 129-140.
- Whittow, J.** (1984): *Dictionary of physical geography*. Penguin, Nueva York, 591 p.
- Yair, A** (1990): The role of topography and surface cover upon soil formation along hillslopes in arid climates. *Geomorphology*, 3: 287-299.
- Yair, A. and Enzel, Y.** (1987): The relationships between annual rainfall and sediment yield in arid and semiarid areas. The case of Northern Negev. *Catena Supp.*, 10: 137-146.
- Zanchi, C. & Torri, D.** (1980): Evaluation of rainfall energy in Central Italy. En M De Boodt and D Gabriels (Eds). *Assesment of Erosion*: 133-142.

Zanchi, C (1988): Soil loss and seasonal variation of erodibility in two soils with different texture in the Muguello Valley in Central Italy. *Catena Sup.*, 12: 167-173.