

# CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN EN UN CAMINO FORESTAL DE UN BOSQUE TÍPICO MEDITERRÁNEO DE *QUERCUS SUBER*

*Xavier Úbeda, Lourdes Reina, & María Sala*

GRAM (Grup de Recerca Ambiental Mediterrània)  
Depto. de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional.  
Facultat de Geografia i Història. Universitat de Barcelona. Baldiri Reixac, s/n.  
08028 Barcelona. E-mail: [xubeda@trivium.gh.ub.es](mailto:xubeda@trivium.gh.ub.es)

---

**Resumen:** Se ha instalado una parcela experimental en un camino forestal de un bosque típico mediterráneo de *Quercus suber* para el control de la erosión. El fuerte incremento del número de usuarios de estos caminos, para acceder a nuevos asentamientos construidos en zonas forestales, ha aumentado el material erosionado en estas vías de comunicación. Este artículo demuestra el importante papel que tienen los caminos forestales como fuente de erosión. Para poder ponderar los datos, también se ha estudiado la erosión durante el mismo período en parcelas de la misma área con diferentes usos del suelo. La máxima erosión corresponde al camino (13,10 tn/ha/año), seguida por un área de bosque quemado a alta intensidad de fuego (11,84) y un área de bosque quemado a una intensidad media de fuego (7,17). En un campo agrícola la erosión fue de 5,73 ton/ha/año. Los valores más bajos corresponden al área de bosque natural y a la de bosque quemado con una intensidad baja de fuego.

**Palabras clave:** erosión, camino forestal, parcela experimental.

**Abstract:** A plot has been installed to control the erosion in an unpaved road of a *Quercus suber* Mediterranean forest. The increase in the number of users of those unpaved roads in order to reach the new settlements, built in the forest area, has increased the production of eroded sediment. The paper aims to determine the role of the unpaved roads as source of erosion in this forest area. In order to evaluate the importance of the sediment production from the unpaved roads, other land units in the same area have been studied. The erosion has been

measured in the natural forest, in forest burnt at different fire intensities, and in an agricultural field. The results show a maximum erosion rate in the unpaved road plot (13,10 tn/ha/year), followed by the high intensity burnt forest (11,84) and the medium intensity burnt forest (7,17). In the agricultural field erosion was 5,73 tn/ha/yr. The lowest values were registered in the natural forest and the low intensity burnt area.

**Key-words:** erosion, unpaved road, plot.

---

---

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los problemas relacionados con el impacto de los usos del suelo en la dinámica hidrológica y la producción de sedimento en cuencas de drenaje emergen como uno de los temas medio ambientales de más creciente interés, especialmente en áreas mediterráneas altamente susceptibles a fuertes procesos erosivos. En particular, la acción de los caminos forestales sobre la generación y deposición de sedimento en las redes de drenaje y llanuras aluviales presenta un potencial de degradación medio ambiental nada despreciable.

En las áreas de montaña el uso del suelo está pasando por uno de sus mayores cambios. Por un lado, está teniendo lugar un progresivo abandono de la silvicultura, y por otro lado, la montaña está cada vez más ocupada por usos directa o indirectamente relacionados con el turismo. La construcción de urbanizaciones y de espacios lúdicos en el bosque, tales como campos de golf, restaurantes, equitación, caza etc., con la consiguiente creación de vías o revitalización de antiguos senderos usados tradicionalmente por granjeros y población rural, provoca que haya un incremento de caminos, los cuales sufren una continua degradación por el uso intensivo al que se les someten. Este problema se acentúa con la llegada masiva de automóviles todoterreno o motocicletas (foto 1).

El incremento del número y del uso de caminos conlleva un cambio en la respuesta hidrológica de la superficie de este suelo, que se traduce en un aumento de la escorrentía y de la fuerza del agua para el arrastre. Así mismo aumenta el material sin cohesionar a causa del levantamiento del polvo, y por tanto de sedimento disponible para la posterior erosión (foto 2).

El material erosionado puede llegar a acumularse o a desembocar en la red principal de caminos e incluso en la red fluvial produciendo en ocasiones importantes desperfectos aguas abajo. Algunos autores han evaluado la magnitud del impacto de los caminos forestales sobre la producción de sedimento en áreas húmedas a partir del enfoque del balance de sedimento (Cederholm *et al.*, 1980; Reid, 1981).



*Foto 1: Vehículo circulando por el camino forestal estudiado.*

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se ha llevado a cabo en un bosque donde los caminos son muy comunes. El área de estudio está localizado en la montaña de Les Gavarres, provincia de Girona (mapa 1). El lugar seleccionado para el control de la erosión en un camino forestal y un campo de cultivo se encuentra a 190 m.s.n.m, dentro de la cuenca de Vernegà. En esta área se ubica la estación meteorológica de Mas Bassets. La litología general es granito, a menudo meteorizado con acumulaciones de una estructura muy débil en la superficie. La precipitación media anual es de alrededor de 718 mm, teniendo la máxima precipitación en otoño, que comúnmente tiene lugar en forma de tormentas con intensidades de 30 mm/h durante el período de estudio. El bosque es de



Foto 2: Erosión en el camino forestal estudiado.

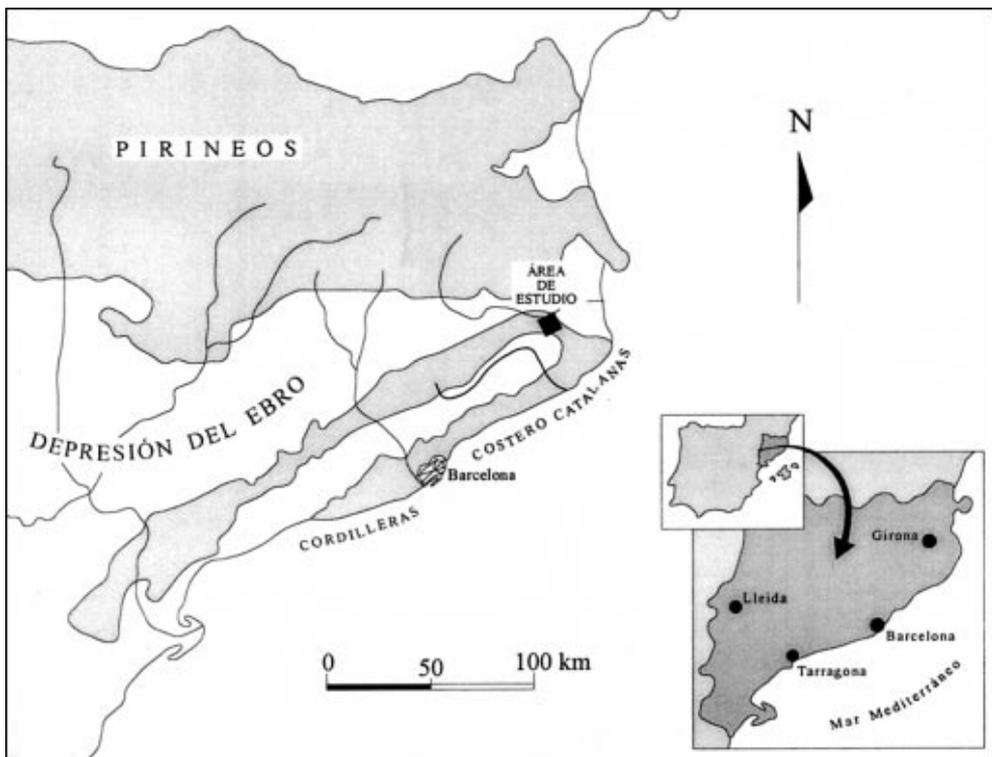
*Quercus suber*, con sotobosque aclarado o bien de *Arbutus unedo* y *Erica arborea*. La densidad de caminos sin asfaltar en la cuenca es de 2,1 km/km<sup>2</sup> (fig. 1).

### 3. METODOLOGÍA

Para conocer el volumen de material erosionado procedente del camino se instaló un colector situado en la parte final del mismo. Este colector almacena el sedimento transportado por un camino con un área de 300 m<sup>2</sup> después de los episodios de lluvia. Por su proximidad al curso de la riera de Vernegà este material puede considerarse de entrada directa al sistema fluvial (fig. 2).

La granulometría de los sedimentos erosionados mayores de 1 mm fueron analizados mediante tamización y se utilizó el sistema Coulter para los menores de este tamaño. Así mismo, muestras de agua de escorrentía se analizaron químicamente para cuantificar el contenido de elementos disueltos.

Debido a la imposibilidad de poder recoger toda la escorrentía, fue necesario la utilización de un simulador de lluvia para conocer el coeficiente de escorrentía. Se utilizó el portátil de Calvo *et al.* (1988). Cada experimento tuvo



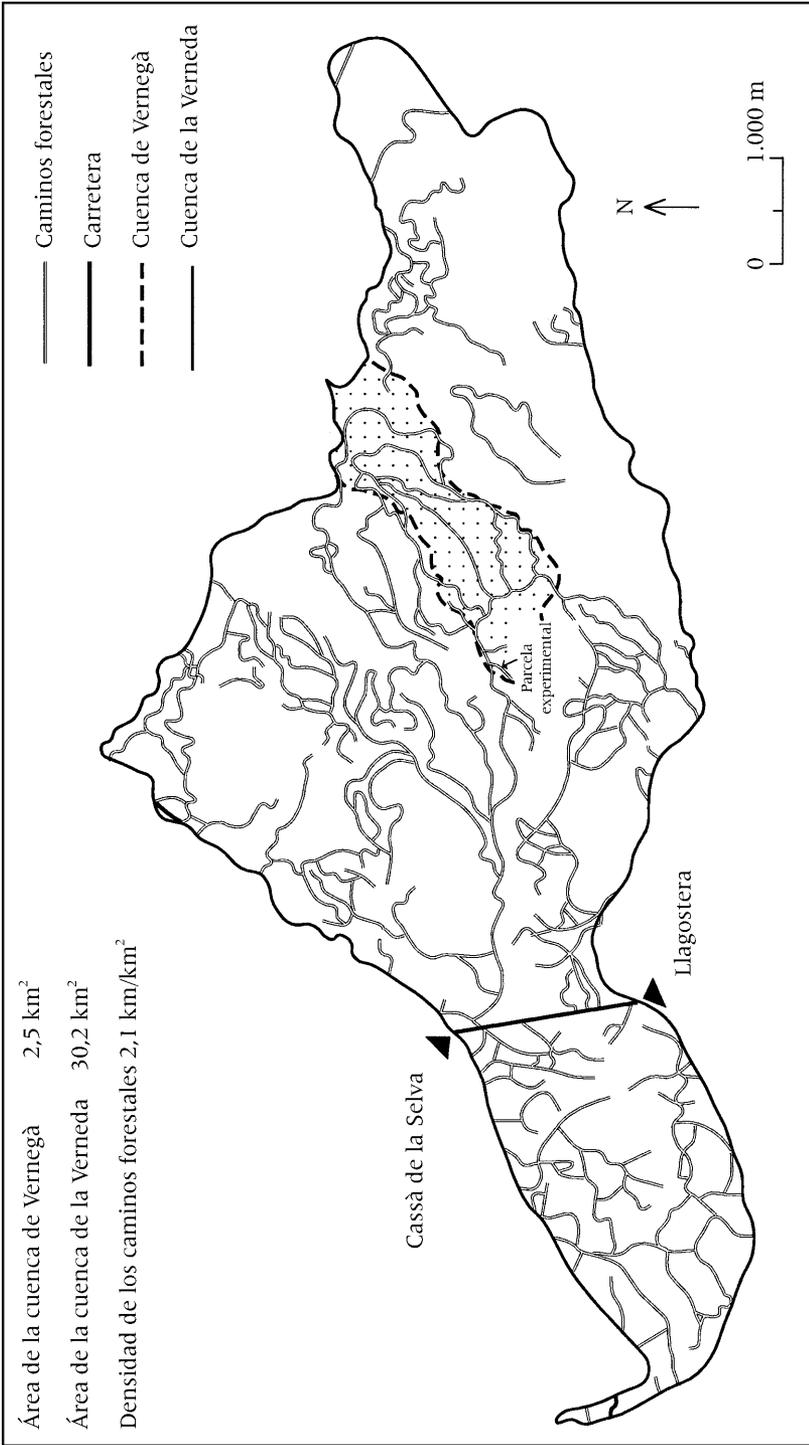
*Mapa 1: España, Cataluña y localización del área de estudio.*

una duración de una hora manteniendo una presión constante de  $1,7 \text{ kg/cm}^2$ , consiguiendo una intensidad media de  $60 \text{ mm/h}$ . El área experimental utilizada para este simulador es de  $0,24 \text{ m}^2$ .

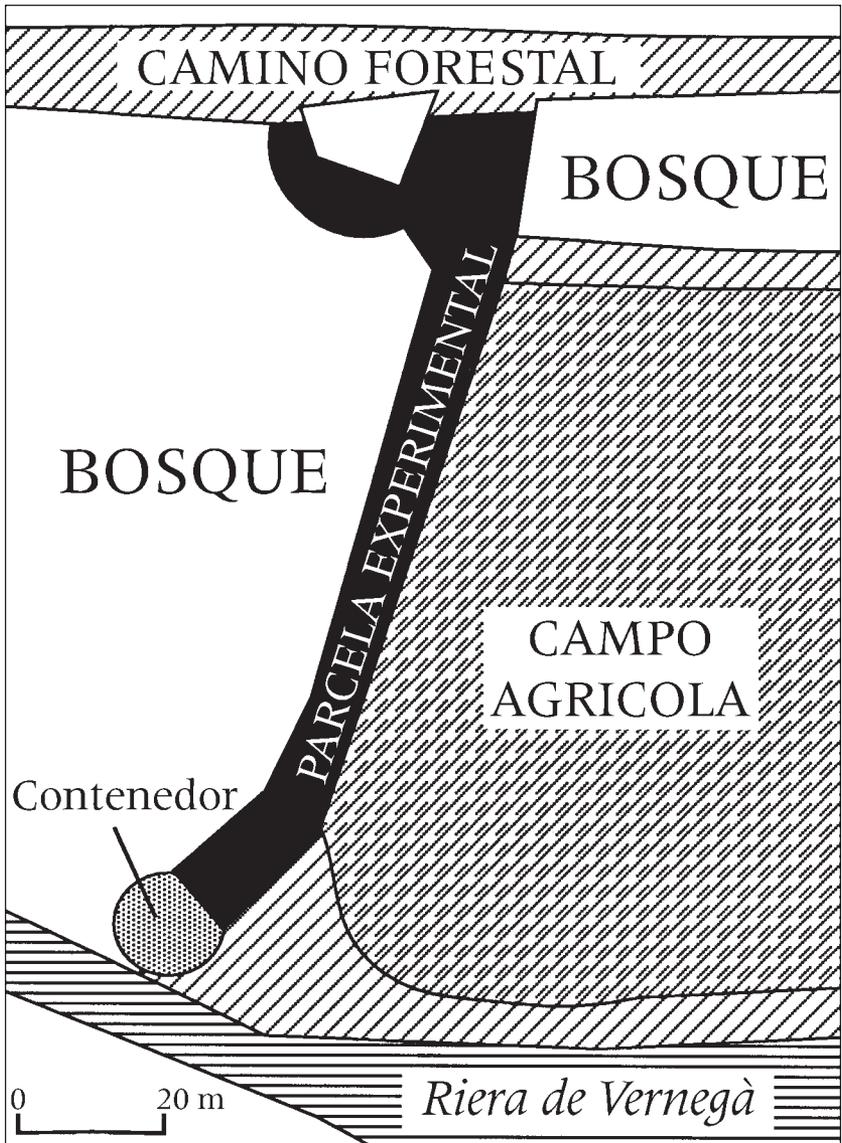
Como complemento a los análisis puntuales de las simulaciones de lluvia fueron indispensables los datos de la estación meteorológica de que dispone el área de estudio con el fin de conocer el total e intensidad de lluvia.

#### 4. RESULTADOS

Los resultados muestran una importante cantidad de material erosionado en la parcela del camino sin asfaltar (tablas 1 y 2). Los valores máximos se produjeron siempre en otoño ( $1,47 \text{ kg/m}^2$  en 1994 y  $0,81 \text{ kg/m}^2$  en 1995). Durante este período tuvieron lugar lluvias con intensidades de 30 y  $15,60 \text{ mm/h}$ . Invierno y primavera son los períodos donde las lluvias son menos importantes en cantidad así como en intensidad. En la tabla 2 se puede comprobar que solamente el 46,57% del total de la lluvia caída produjo erosión en invierno, en primavera eso ocurrió solamente con el 18,36% de la



**Figura 1:** Cuenca de la Vernegà y Vernegà y localización de los caminos forestales.



**Figura 2:** Croquis de la localización de la parcela control del camino forestal.

lluvia, mientras en otoño los valores son de 94,50% en 1994 y 100% en otoño de 1995. El coeficiente de escorrentía medio fue estimado en 16,67%.

De todo el material erosionado durante el período de estudio, el 93,36% lo fue como carga de fondo a través de las cárcavas formadas por erosiones previas, el 6,19% como sedimento en suspensión por el agua de arroyada, y tan sólo el 0,45% disuelto en el agua.

**Tabla 1.** *Erosión total en una parcela control de un camino forestal.*

Parcela Camino Forestal	Precipitación del período	Estimación escorrentía*	Sedimento transportado como carga de fondo	Concentrac. sedimento	Sedimento transportado en suspensión	Concentrac. sólidos disueltos	Sedimento transportado en disolución	Erosión Total	Erosión Total
Fecha	(l/m <sup>2</sup> )	(l/m <sup>2</sup> )	(g/m <sup>2</sup> )	(g/l)	(g/m <sup>2</sup> )	(g/l)	(g/m <sup>2</sup> )	(g/m <sup>2</sup> )	(k/m <sup>2</sup> )
1/9/94	15,70	2,62	25,30	4,12	10,78	0,07	0,18	36,26	0,04
14/9/94	22,70	3,78	139,27	1,03	3,92	0,05	0,19	143,38	0,14
28/9/94	53,40	8,90	147,27	1,56	13,88	0,19	1,70	162,85	0,16
6/10/94	42,40	7,07	199,50	0,04	0,29	199,79	0,20		
20/10/94	212,50	35,42	378,90	0,83	29,23	0,09	3,19	411,32	0,41
4/11/94	48,30	8,05	275,40	0,90	7,25	0,14	1,13	283,78	0,28
10/11/94	20,70	3,45	27,97	3,20	11,04	39,01	0,04		
6/12/94	56,50	9,42	174,80	2,10	19,78	0,22	2,07	196,65	0,20
23/12/94	10,70	1,78	5,73	1,30	2,32	8,05	0,01		
8/3/95	12,40	2,07	31,93	0,80	1,65	0,07	0,14	33,72	0,03
29/4/95	13,00	2,17	51,70	3,34	7,24	0,06	0,13	59,07	0,06
19/7/95	26,00	4,33	33,67	0,06	0,26	33,93	0,03		
8/8/95	6,70	1,12	2,50	1,20	1,34	3,84	0,00		
19/8/95	18,00	3,00	74,83	0,98	2,94	0,13	0,39	78,16	0,08
26/8/95	48,00	8,00	268,17	2,40	19,20	0,16	1,28	288,65	0,29
26/9/95	44,50	7,42	291,10	0,23	1,71	0,09	0,67	293,48	0,29
30/10/95	24,50	4,08	172,30	0,45	1,84	0,10	0,41	174,55	0,17
29/11/95	68,50	11,42	112,20	0,23	2,63	0,08	0,91	115,74	0,12
15/12/95	113,50	18,92	105,00	1,40	26,49	131,49	0,13		
29/12/95	24,60	4,10	94,20	2,34	9,60	0,06	0,25	104,05	0,10
		<b>Total</b>	<b>2.612,00</b>		<b>173,36</b>		<b>12,64</b>	<b>2.797,7</b>	<b>2,78</b>
		<b>% del total</b>	<b>93,36</b>		<b>6,19</b>		<b>0,45</b>		

\* Estimada con simulador de lluvia.

**Tabla 2.** *Distribución de la erosión en diferentes estaciones del año.*

	Erosión	Precipitación total	Precipitación útil*	Precipitación útil	Máx. Int. de precipitación
	(kg/m <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(%)	(mm/lt)
Otoño 1994	1,47	482,90	456,50	94,50	30,00
Invierno 1994	0,04	49,60	23,10	46,57	8,40
Primavera 1995	0,06	70,80	13,00	18,36	8,40
Verano 1995	0,40	114,90	98,70	85,90	35,40
Otoño 1995	0,81	251,00	251,00	100,00	15,60
Total erosión en el período estudiado	<b>2,78</b>				
Erosión en Otoño 1994	1,47				
Erosión en 1995	1,31				

\* Precipitación que produce erosión.

El 28,6% de todo el material erosionado fueron gravas, y del material fino el 75,49% fueron arenas (tabla 3). Este resultado justifica el valor obtenido del 93,36% de material transportado como carga de fondo. El hecho de que se trate de una zona granítica favorece la composición granulométrica reflejada en la tabla.

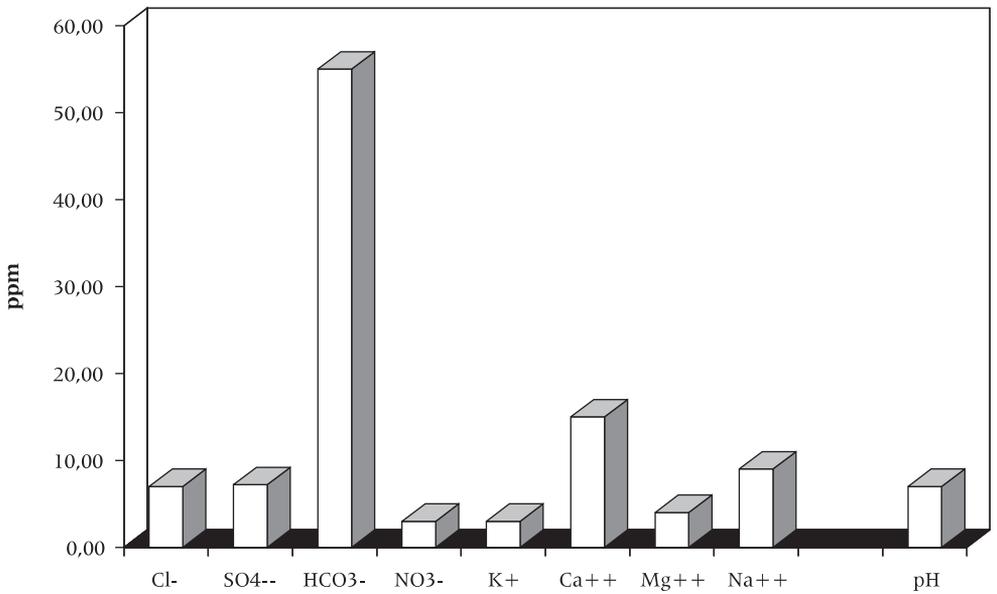
**Tabla 3.** Análisis de textura del material erosionado.

	Gravas	Finos (< 2 mm)	Finos		
	%	%	Arenas	Limos	Arcillas
			%	%	%
1/09/94	19,01	80,99	74,26	22,69	3,04
14/09/94	36,92	63,08	74,70	22,60	2,70
28/09/94	32,62	67,38	86,06	12,32	1,62
6/10/94	30,63	69,37	76,39	20,54	3,07
20/10/94	38,5	61,5	84,68	13,54	1,78
4/11/94	46,34	53,66	84,13	14,13	1,74
10/11/94	24,67	75,33	70,82	25,70	3,48
6/12/94	24,04	75,96	81,90	16,46	1,64
23/12/94	34,57	65,43	71,78	22,44	5,78
8/03/95	20,07	79,93	74,20	22,33	3,47
29/04/95	20,79	79,21	74,59	21,96	3,45
19/07/95	41,89	58,11	72,02	24,39	3,59
8/08/95	6,7	93,3	64,00	31,85	4,15
19/08/95	29,1	70,9	74,79	22,38	2,83
26/09/95	24,36	75,64	59,32	37,02	3,65
30/10/95	19,4	80,6	71,82	23,91	4,27
29/11/95	30,74	69,26	78,04	17,75	4,21
15/15/95	31,87	68,13	79,20	18,20	2,60
29/12/95	31,42	68,58	82,84	14,60	2,56
Promedio	<b>28,6</b>	Promedio	<b>75,49</b>	<b>21,36</b>	<b>3,14</b>
		Máximo	86,06	37,02	5,78
		Mínimo	59,32	12,32	1,62

La concentración de iones en el agua fue baja debido a la poca materia orgánica y a la baja solubilidad del material erosionado (fig. 3). La química del agua muestra una secuencia de  $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^- \rightarrow \text{Cl}^- \rightarrow \text{NO}_3^-$   $\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ .

### 5. DATOS COMPARATIVOS

Los valores de erosión obtenidos en el camino se comparan con los de cinco unidades diferentes estudiadas durante el mismo período de investiga-



**Figura 3:** Concentración de iones en el agua de escorrentía de la parcela control del camino forestal.

ción (tabla 4): áreas de bosque quemado a diferentes intensidades de fuego, campo agrícola, bosque aclarado y bosque de vegetación densa. El camino forestal produjo la erosión máxima (13,10 tn/ha/año), seguido por el área de bosque quemado con una alta intensidad de fuego (11,84), y el área quemada a una intensidad media (7,17). Los valores más bajos corresponden al área de bosque quemado con una intensidad baja del fuego.

**Tabla 4.** Comparación de valores en siete unidades de suelo en 1995 (Batalla, 1994; Úbeda, 1996; Úbeda 1996).

	Camino forestal	Incendio de intensidad alta	Incendio de intensidad media	Campo agrícola	Bosque aclarado	Bosque de vegetación densa	Incendio de intensidad baja
Tn/ha/año	13,10	11,84	7,17	5,73	1,00	0,08	0,03

La parcela del camino fue por tanto una de las que produjo un total más elevado de sedimento, y también durante la mayoría de eventos de lluvia. Tan sólo en nueve ocasiones los resultados fueron menores en el camino que en otras áreas, por la alta tasa de erosión producida en el bosque quemado más intensamente. La erosión máxima ocurrió en todas las parcelas en otoño (fig. 4).

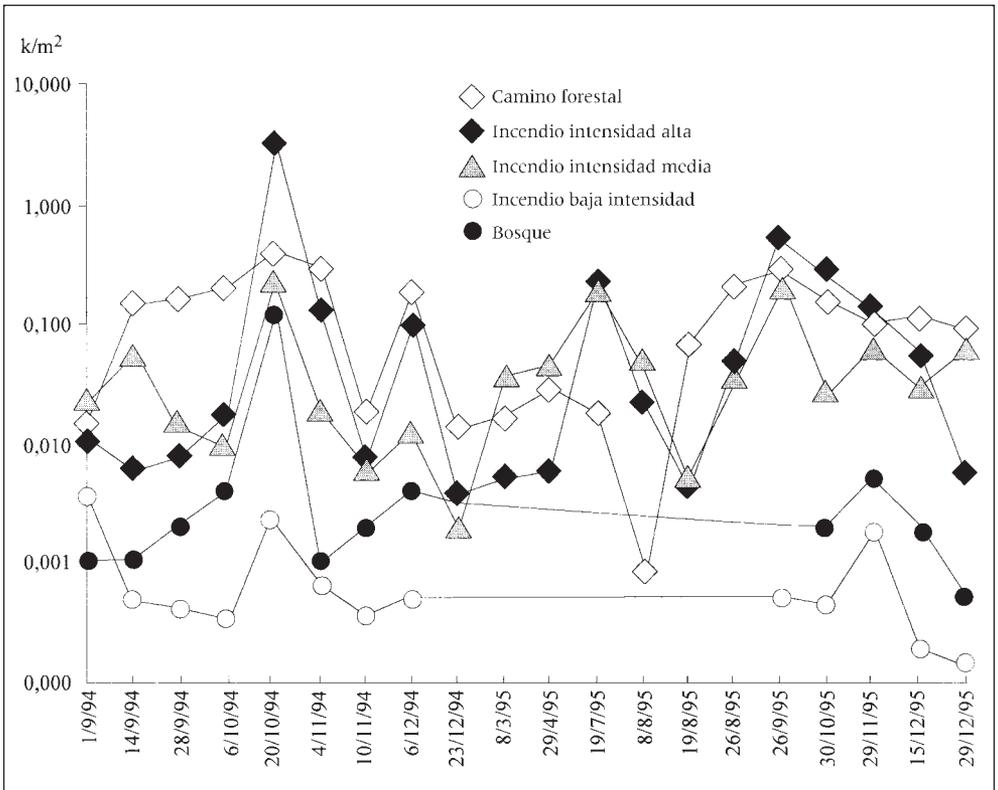


Figura 4: Comparación de los valores de erosión en cinco unidades de suelo durante el período de estudio (Datos de Úbeda & Sala, 1996).

## 6. CONCLUSIÓN

Los caminos, debido a su baja capacidad de infiltración, incrementan la escorrentía superficial produciendo mayor erosión. El total de lluvia y sus intensidades son las claves para entender la producción de erosión en los caminos donde la totalidad de la superficie está desnuda a lo largo del año. Si bien la erosión está constituida por una gran cantidad de sedimento, éste no es rico en nutrientes ni en materia orgánica. Otro hecho importante a remarcar es que el sedimento no se acumula en otros lugares, si no que es llevado directamente hacia el río en cada evento de lluvia. Así pues los caminos son fuente de sedimentos que influyen directamente en el balance de sedimentos de la cuenca. En consecuencia repercuten en los procesos de sedimentación del cauce y de los riesgos de obstrucción e inundación en las veras del río aguas abajo. Por tanto, si bien la existencia de caminos es necesaria, debe vigilarse que su número no se incremente de forma descontrolada, atendiendo sólo a la demanda turística.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se inició gracias al proyecto de la Comunidad Europea EV5V-CT91-0043 «Desertification Risks Assessment and Land Use Planning in a Mediterranean Coastal Area», y el Proyecto RESEL del Ministerio de Agricultura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batalla, R.J., Sala, M., Pernas, J., Ubeda, X. & Martín, E.S.** (1994): *Desertification Risk and Land Use Planning in a Mediterranean Coastal Area*. Project N.EV5V-0043. Final Report, 108 pp.
- Calvo, A., Gispert, J.M., Palau, E. & Romero, M.** (1988): Un simulador de lluvia portátil de fácil construcción. En: Sala & Gallart de: *Métodos y técnicas para la medición en el campo de procesos geomorfológicos*. S.E.G. Monografía núm. 1, Barcelona, pp. 6-15.
- Cederholm, C.J., Reid, L.M. & Salo, E.O.** (1980): Cumulative effects of logging road sediment on salmonid populations in the Clearwater River, Jefferson County, Washington. En: *Proceedings of a conference on Salmon-Spawning Gravel: a renewable resource in the Pacific Northwest*, Seattle, W.A. October 6-7.
- Reid, L.M.** (1981): Sediment production from gravel-surfaced forest roads, Clearwater basin, Washington. University of Washington Fisheries Research Institute FRI-UW-8108, 247 pp.
- Úbeda, X. & Sala, M.** (1996): Cambios en la física del suelo e incremento de la escorrentía y erosión tras un incendio forestal. *IV Reunión Nacional de Geomorfología*, A Coruña.
- Úbeda, X. & Sala, M.** (1996): Caracterització del sòl i quantificació del transport de sediment en un bosc mediterrani. *Notes de Geografia Física*. Barcelona, 10 pp.