

IV Reunión de Geomorfología
Grandal d'Anglade, A. y Pagés Valcarlos, J., Eds.
1996, Sociedad Española de Geomorfología
O Castro (A Coruña)

CAMBIOS EN LA FÍSICA DEL SUELO E INCREMENTO DE LA ESCORRENTÍA Y LA EROSIÓN TRAS UN INCENDIO FORESTAL

Ubeda, X. y Sala, M.

G.R.A.M. (Grup de Recerca Ambiental Mediterrània). Universitat de
Barcelona. Departament de Geografia Física. Facultat de Geografia i Història.
C/ Baldiri Reixac s/n. 08028. Barcelona.

RESUMEN

Los cambios en las propiedades físicas del suelo después de un incendio forestal, determinan una menor capacidad de infiltración y son responsables del incremento de escorrentía y erosión. El siguiente artículo analiza la textura, la porosidad y la estabilidad estructural del suelo de un bosque quemado en 1993. Se analizan también las diferencias que las intensidades del fuego pudieron tener en estas propiedades. Estos aspectos son comparados entre una parcela control de bosque y tres áreas afectadas por diferentes intensidades del incendio. Se han obtenido tasas de escorrentía hasta 8 veces superiores en la zona de intensidad alta, y tasas de erosión 30 veces superiores en episodios concretos de precipitación. La suma de los efectos producidos en la física del suelo, así como la desprotección del mismo por parte de la vegetación explicarían el aumento de la escorrentía y la erosión.

Palabras clave: Incendios forestales, intensidad del fuego, escorrentía, erosión

ABSTRACT

Runoff and erosion increment after forest fires are, in part, a consequence of changes in the physical properties of the soil. This paper analyzes the texture, porosity and aggregate stability of the soil of a forest burnt in 1993. The differences of these properties as a consequence of different fire intensities are also analyzed. As a consequence of these changes the soil has less infiltration capacity, and there is an increment of runoff and erosion. These two aspects are compared between a control plot in the forest, and in three areas affected with different fire intensity. Runoff increases 8 times and erosion 30 times in the high fire intensity area during concret rainfall events. The effects of fire in the physical properties plus the burnt of vegetation explain the increases of runoff and erosion.

Key words: Forest fire, fire intensity, runoff, erosion

INTRODUCCIÓN

Son muchos los autores que han estudiado los efectos de los incendios forestales sobre las propiedades físicas del suelo (BEMETRIEUX *et al.*, 1960, GIOVANNINI *et al.*, 1976, UBEDA *et al.*, 1990). Las variaciones producidas en la textura, la porosidad y la estabilidad estructural han sido investigadas en el campo y en el laboratorio. Todos estos cambios tienen repercusiones en la circulación y el estado del agua en el suelo (retención de humedad, infiltración), y como consecuencia un incremento de la escorrentía.

Muchos de estos autores coinciden en que estos cambios provocan mayor erosión, no solo porque el fuego modifica estos parámetros sino también por el hecho de que deja desprotegido de vegetación, raíces incluidas, a este suelo (GIOVANNINI & LUCCHESI, 1992, ANDREU *et al.*, 1994, SALA *et al.* 1994)

Mayoritariamente los cambios físicos vienen atribuidos en su mayor medida a cambios químicos producidos por el incremento la temperatura así como a la pérdida de materia orgánica. Así pues, un cambio en la textura del suelo puede ser debido a la calcinación de hierro y aluminosilicatos a temperaturas suficientemente elevadas, que ayudan a la agregación de partículas de arcilla hasta formar partículas de arena. (BETREMIEUX *et al.*, 1960), (GIOVANNINI, 1994). En suelos arcillosos la porosidad del suelo experimenta un incremento debido principalmente debido a la calcinación de materia orgánica y a la pérdida de hidróxidos de las arcillas, mientras que en suelos arenosos se ha observado una disminución sin necesidad de llegar a altas temperaturas (GIOVANNINI, 1994). La estabilidad de agregados y su relación con los incendios forestales ha sido ampliamente estudiada (SANROQUE *et al.*, 1985, DÍAZ-FIERROS *et al.*, 1987, MOLINA *et al.*, 1994) obteniendo resultados muy dispares e incluso contradictorios, aunque no por este motivo podemos descartar ninguno de ellos. La temperatura alcanzada y sus repercusiones son muy importantes para entender el incremento o disminución de estabilidad, no pudiendo generalizar de mayor o menor estabilidad estructural después de un incendio. Los mismos cambios que provocan variaciones texturales y de porosidad pueden ser los causantes de una mayor o menor estabilidad.

El objetivo de este trabajo es comprobar los cambios que sufren los primeros centímetros del suelo, por lo que se refiere a textura, estabilidad estructural, porosidad, retención de humedad y capacidad de infiltración, y su relación con la intensidad del fuego, y el incremento de la escorrentía y la erosión.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se sitúa en la Sierra de Les Gavarres y Cadiretes, en la provincia de Girona (Figura 1). El incendio tuvo lugar el 7 de julio de 1994 y afectó aproximadamente a 12,6 hectáreas. La litología predominante en la zona de estudio son esquistos. La precipitación media anual es de 675 mm. Las diferentes especies de vegetación en el área quemada son *Pinus pinaster* y *Quercus suber* con un sotobosque de *Arbutus unedo* y *Erica arborea*. La pendiente está aterrazada, debido al cultivo a que estaba sometida antiguamente y a la plantación de pinos más reciente. Según ROQUÉ & PALLÍ (1993) utilizando la Soil Taxonomy el suelo corresponde a un Xerorthents, poco evolucionado,

inferior a 10 cm.

MATERIAL Y MÉTODOS

RECOGIDA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS EN EL LABORATORIO

La caracterización del suelo se realizó mediante la toma de 50 muestras para análisis de textura, humedad y estabilidad estructural, muestras que conservaban la estructura para el análisis de la porosidad. La textura se realizó mediante el sistema del Analizador de partículas Coulter. La porosidad y la humedad fueron halladas mediante el método gravimétrico y para el estudio de la estabilidad estructural se empleó la técnica de estabilidad de agregados CND (contar número de gotas) y TDI (diez impactos de gota).

DETERMINACIÓN DE INTENSIDADES, INFILTROMETRÍAS Y CONTROL DE LA EROSIÓN

Inmediatamente después del incendio las diferentes intensidades del mismo fueron determinadas en el campo. Se distinguieron tres áreas mediante la observación del estado de los árboles y las cantidades de ramas y hojas que mantuvieran, así como la cantidad de hojarasca que tuviera la superficie del suelo. La vegetación después del incendio en las diferentes áreas tenía las siguientes características:

A) Intensidad baja: Los árboles (*Pinus* y *Quercus*) mantenían algunas hojas (aunque no todas ellas fueran de color verde), y un gran número de ramas, incluso pequeñas. Mucha hojarasca cubrió el suelo justo después del incendio y no llegó a quemarse. Los *Quercus suber* sobrevivieron así como algún *Pinus pinaster*.

B) Intensidad media: Los árboles no conservaban ninguna hoja, pero tenían un número importante de ramas. No había mucha hojarasca en el suelo. Este área se localiza cerca de la zona de baja intensidad y en la parte superior de la vertiente.

C) Intensidad alta: Los árboles habían perdido todas las hojas y ramas, solo conservaban el tronco. El *Arbutus unedo* había desaparecido, y la superficie del suelo estaba totalmente desprotegida.

Se realizaron pruebas de infiltración en las áreas quemadas de intensidad alta y media, y se compararon con los resultados obtenidos en infiltraciones realizadas en el bosque control en terrenos con pendiente y en llano. El método utilizado fue el de la anilla simple.

Dos colectores tipo Gerlach fueron instalados el día siguiente al incendio en cada una de las tres áreas. El área de contribución fue determinada topográficamente. La pendiente de las parcelas es del 9 al 11%, similar a la media de toda la vertiente quemada. El sedimento erosionado recogido en las trampas fue secado y pesado, y se midió el agua de escorrentía.

Una parcela control fue instalada en el bosque cercano a la zona quemada. Los canales Gerlach fueron instalados en una zona con vegetación densa y otra con vegetación muy dispersa, donde el suelo queda desprotegido a las gotas de lluvia.

Un colector totalizador de lluvia fue instalado en la zona quemada, y los datos fueron contrastados con los de una estación meteorológica que dista 5 kilómetros.

RESULTADOS

1) TEXTURA

La textura del suelo después del incendio experimentó, tanto en la zona de intensidad media como alta, una disminución de la fracción de arena de un 8% y un aumento tanto de los limos como de las arcillas del 5% y el 3% respectivamente (Figura 2). Estudios realizados en suelos que también han sufrido incendios o en experimentos de laboratorio, muestran que la textura del suelo suele incrementar la fracción arena debido a la agregación de partículas finas, gracias al hierro y al aluminio fundidos por la temperatura (BETREMIEUX *et al.*, 1960). El resultado obtenido difiere de esta teoría. Sin embargo en Sant Miquel d'Aro la fracción arena disminuía también en un 15% (CARTANÁ & SANJAUME, 1994). Este hecho es achacable a que la intensidad del fuego no fue lo suficientemente elevada para calcinar el hierro y aluminosilicatos, que ocurre a los 300°C, aunque no está claro cuanto tiempo tiene que permanecer esta temperatura. La fracción arena a baja temperatura puede romperse lo que explicaría el resultado anteriormente expuesto.

2) POROSIDAD

La porosidad del suelo en el bosque control es del 56,32%, mientras que la del suelo quemado es del 62,24%. La pérdida de materia orgánica, así como de raíces pueden ser las causas más evidentes de este cambio. Parte de la materia orgánica que puede haber desaparecido deja lugar a espacios que podrían ser ocupados por agua si no se viera alterada la infiltración.

3) HUMEDAD

La retención de humedad del suelo no sufrió variaciones importantes. Por dos veces se comprobó la humedad existente, con un total de 50 muestras cada vez. En la primera ocasión el suelo del bosque control tenía un 7% de humedad, mientras que el suelo del bosque quemado tenía un 8%. En la segunda ocasión el suelo del bosque contaba con un 2,19% de humedad y el quemado un 2,08%. No se puede afirmar que la causa del incremento de escorrentía sea consecuencia de falta de capacidad de retención de humedad, esto podría achacarse a otro tipo de fenómeno.

4) INFILTRACIÓN

Se observa una disminución de la infiltración en el suelo del bosque quemado, más pronunciada cuanto mayor intensidad de fuego (Figura 3). La disminución de infiltración ya había sido constatada en el incendio de Sant Miquel d'Aro (CARTANÁ & SANJAUME, 1994). La diferencia de capacidad de infiltración en el área de estudio es muy elevada. Teniendo en cuenta que

hay más porosidad después del incendio, y que la capacidad de retención es similar antes y después del fuego, la disminución de la capacidad de infiltración sería la responsable del incremento de escorrentía. Algunos autores afirman que la causa más importante para la disminución de la infiltración es la hidrofobia de los primeros centímetros del suelo, la cual se establece cuando la temperatura está alrededor de los 300°C (DIMITRAKOPOULOS & MARTÍN, 1994).

5) ESTABILIDAD ESTRUCTURAL

Los agregados de la zona quemada no son más inestables que los de la zona control (Figura 4). Las dos pruebas a las que fueron sometidos muestran iguales resultados. Ahora bien, la desprotección de los agregados en la zona quemada es mayor, por lo que tienen una mayor predisposición a ser erosionados.

6) ESCORRENTÍA Y EROSIÓN

La tabla 1 muestra los datos obtenidos durante el periodo estudiado en el bosque quemado (7/7/94-22/3/95) y en las parcelas control (16/6/93-9/12/94). El mayor evento de precipitación tuvo lugar el 18, 19 y 20 de octubre de 1994, y produjo casi el 90% de todo el material erosionado.

La escorrentía fue mayor en la zona de intensidad de fuego alta y media, con valores que doblaban a los de la parcela control. Aunque el total de escorrentía es mayor en la zona de intensidad media, el valor más grande de escorrentía se da en la zona de intensidad alta. La figura 5 muestra la evolución de la escorrentía durante 9 meses después del incendio. Los valores de la zona de intensidad baja no están representados pero son muy cercanos a cero, teniendo un máximo de 0,7 l/m². Otros estudios sobre el efecto del fuego sobre la escorrentía muestran resultados similares (SOTO *et al.*, 1994, TERRY, 1994, SOLER *et al.*, 1994, CARTAÑÁ & SANJAUME, 1994). En relación al poco incremento de escorrentía en una área de baja intensidad de incendio, SÁNCHEZ (1994) obtiene resultados parecidos. Este último resultado puede ser debido a la cobertura del suelo de hojarasca, que le protege de hidrofobicidad, salpicaduras, y formación de costras superficiales. Un proceso similar puede ser encontrado en WALSCH *et al.* (1994).

Durante los nueve meses de estudio, el coeficiente de escorrentía (Figura 6) tiende a decrecer gradualmente en la zona de intensidad media, pero no en la zona de intensidad alta. Las causas de una mayor escorrentía están relacionadas con la hidrofobicidad del suelo (Debano, 1979), menor infiltración (CARTAÑÁ & SANJAUME, 1994) y formación de costras en la superficie del suelo (LE BISSONNAIS, 1989).

Los resultados muestran un aumento sustancial del material erosionado, con claras diferencias en relación a las intensidades de fuego (Figura 7). El total de material erosionado durante el periodo de estudio es muy elevado. El máximo valor de erosión en un episodio de lluvia muestra una tendencia similar. Valores parecidos pueden encontrarse en GIOVANNINNI (1992) y TERRY (1994). En nuestro caso, un total tan elevado es consecuencia de la fuerte

tormenta de 200 mm (Octubre 1994). En la figura 7 se puede observar como la erosión decrece en la zona de intensidad media, excepto en el caso de fuertes tormentas, no ocurre así en la zona de intensidad alta, al menos en el periodo estudiado. La relación entre precipitación y erosión (Figura 8) decrece con el tiempo en el área de intensidad media pero no ocurre así en la zona de intensidad alta, donde los valores de erosión están estrechamente ligados a la precipitación.

CONCLUSIONES

Después de observar los resultados podemos distinguir dos efectos primordiales para entender el aumento de erosión después de un incendio. El primero es la disponibilidad de material para ser erosionado. Para entender este hecho hay que tener en cuenta que después de un incendio existe una desprotección del suelo a causa de la desaparición de la vegetación, y un cambio de textura que puede tener consecuencias directas en la estabilidad estructural del suelo. El segundo efecto es el cambio en la hidrología superficial, a causa de la disminución de la capacidad de infiltración de los primeros centímetros del suelo, lo cual conlleva un aumento de la escorrentía. Estos fenómenos no son independientes. El hecho de que haya menos vegetación incrementa el efecto del impacto de las gotas de lluvia, y deja vía libre a la acción del viento. La falta de vegetación también acelera la velocidad del agua de precipitación en superficie, lo que conlleva a su vez una dificultad en la infiltración, ya que el agua pasa demasiado rápida por la superficie del suelo. El resultado final es un aumento de la escorrentía y con ella la erosión del material desplazado por salpicadura. A su vez, la mayor velocidad del agua puede generar surcos y regueros, incrementando la velocidad y la fuerza de arrastre.

La intensidad del fuego es un factor determinante en las tasas de escorrentía y erosión, excepto cuando ésta es muy moderada. En el área de baja intensidad un hecho a tener en cuenta es la cubierta de hojarasca que evita la escorrentía y el impacto directo de la lluvia contra el suelo. En el área de intensidad media la escorrentía y la erosión decrecen gradualmente con el tiempo mientras que en el área de intensidad alta, aparecen picos de erosión incluso ocho meses después del incendio. Las máximas diferencias en escorrentía fueron encontradas entre la parcela control de vegetación densa (6,35%) y las parcelas de media y alta intensidad (37,43% y 33,65% respectivamente). Las máximas diferencias entre tasas de erosión varían entre 3 g/m² en el área control de vegetación densa y los 3250 g/m² en el área de alta intensidad de fuego. Es interesante resaltar que el máximo de erosión del período fue superior en el área control con vegetación dispersa (131 g/m²) que en el área afectada con fuego de baja intensidad (6,33 g/m²), debido seguramente a la cubierta superficial del suelo por las hojas muertas de pino.

AGRADECIMIENTOS

Parte de este trabajo ha sido financiado con el proyecto de la Comunidad Europea EV5V-CT91-0043 "Desertification Risk Assessment and Land Use Planning in a Mediterranean Coastal Area".

BIBLIOGRAFIA

- ANDREU, V., RUBIO, J. L., FORTEZA, J. & CERNI, R. (1994): Postfire effects on soil quality and nutrient losses. *Proceedings of the 2nd International Conference on Forest Fire Research*. Vol. II, 1241-1250. Coimbra.
- BEMETRIEUX, R., LE BORGNE, E. & MONNIER, G. (1960): *Evolution de certaines propriétés du sol sous l'influence du chauffage*. C. R. Acad. Sci. Paris, 251, 2753-2755.
- CARTAÑA, X. U. & SANJAUME, M. S. (1994): Erosion as a consequence of rains immediately following a forest fire. *Proceedings of the 2nd International Conference on Forest Fire Research*. Vol. II, 1139-1148. Coimbra.
- DE BANO, L. F., RICE, R., & CONRAD, E. (1979): Soil heating in Chaparral fires. Effects on soil properties, plant nutrients, erosion and runoff. *Pacific Southwest*. Dpt. Agriculture United States. 22 p.
- DÍAZ-FIERROS, F., BENITO, E., & PÉREZ, R. (1987): Evaluation of the U.S.L.E. for the prediction of erosion in burnt forest areas in Galicia (N.W. Spain). *Catena*, 14. 189-199.
- DIMITRAKOPOULOS, A. P. & MARTIN, R. E. (1994): Effect of moisture content on soil heating during simulated wildland fire conditions. In Sala, M & Rubio, J. L. (Ed). *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. 207-216. Geoforma. Logroño.
- GIOVANNINI, G., & SEQUI, P. (1976 a): Iron and aluminium as cementing substances of soil aggregates. II. Acetylacetone in benzene as an extractant of fractions of soil iron and aluminium. *Journal of Soil Science*, 27. 140-147.
- GIOVANNINI, G., & LUCCHESI, S. (1992): Effects of fire on soil physico-chemical characteristics and erosion dynamics. In Trabaud, L & Prodon, R (Ed.). *Fire in Mediterranean Ecosystems*. Ecosystems Research Report N° 5. 403-412. Commission of the European Communities. Banyuls-Sur-Mer.
- GIOVANNINI, G. (1994): The effect of fire on soil quality. In Sala, M & Rubio, J. L. (Ed). *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. 15-27. Geoforma. Logroño.
- LE BISSONNAIS, Y., BRUAND, A., & JAMAGNE, M. (1989): Laboratory experimental study of soil crusting: relation between aggregate breakdown mechanisms and crust structure. *Catena* 16. 377-392.
- MOLINA, M. J., GARCÍA-FAYOS, P., & SANROQUE, P. (1994): Short-term changes on aggregate stability and organic matter content after forest fires in a calcareous soil in Valencia (Spain). In Sala, M & Rubio, J. L. (Ed). *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. 43-52. Geoforma, Logroño.
- ROQUÉ, C., & PALLÍ, L. (1993): Edafolitología. *Cartografía temàtica de les terres gironines*. Universitat de Barcelona. Girona.
- SALA, M., SOLER, M., & PRADAS, M. (1994): Temporal and spatial variations in runoff and erosion in burnt soils. *Proceedings of the 2nd International Conference on Forest Fire Research*. Vol. II, 1123-1134. Coimbra.
- SÁNCHEZ, J. R., MANGAS, V. J., ORTIZ, C. & BELLOT, J. (1994): Forest fire effects on soil chemical properties and runoff. In Sala, M & Rubio, J. L. (Ed). *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. 53-65. Geoforma, Logroño.
- SANROQUE, P., RUBIO, J. L. & MANSANET, J. (1985): Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo, en la composición florística y en la erosión hídrica de las zonas forestales de Valencia (España). *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 22. 131-147.
- SOLER, M., SALA, M., & GALLART, F. (1994): Post fire evolution of runoff and erosion during an eighteen month period. In Sala, M & Rubio, J. L. (Ed). *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. 149-161. Geoforma, Logroño.
- SOTO, B., BASANTA, E., PEREZ, R., & DIAZ-FIERROS, F. (1994): Runoff and erosion from burnt soils in Northwest Spain. In Sala, M & Rubio, J. L. (Ed). *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. 91-98. Geoforma, Logroño.
- TERRY, J. P. (1994): Soil loss from erosion plots of differing post-fire forest cover, Portugal.

- In Sala, M & Rubio, J. L. (Ed). *Soil Erosion as a consequence of forest fires*. 133-148. Geoforma, Logroño.
- UBEDA, X., SALA, M., & IMESON, A. (1990): Variaciones en la estabilidad y consistencia de un suelo forestal antes y después de ser sometido a un incendio. *Proceedings I Reunión Nacional de Geomorfología*. 677-685. Teruel.
- WALSH, R. P. D., BOAKES, D., COELHO, C. O. A., GONÇALVES, A. J. B., SHAKESBY, R. A., & THOMAS, A. D. (1994): Impact of fire-induced hydrophobicity and post-fire forest litter on overland flow in Northern and Central Portugal. *Proc. 2nd Int. Conf. Forest Fire Research*. Vol. II, 1149-1159. Coimbra.

Pies de Figuras y Tablas

Figura 1: Localización del área de estudio

Figura 2: Comparación de la textura del suelo

Figura 3: Comparación de las tasas de infiltración en cuatro unidades (control pendiente, control llano, área quemada de intensidad alta y área de intensidad media)

Figura 4: Comparación de la estabilidad de los agregados del suelo mediante dos pruebas, CND (Contar número de gotas) y TDI (Diez impactos de gota)

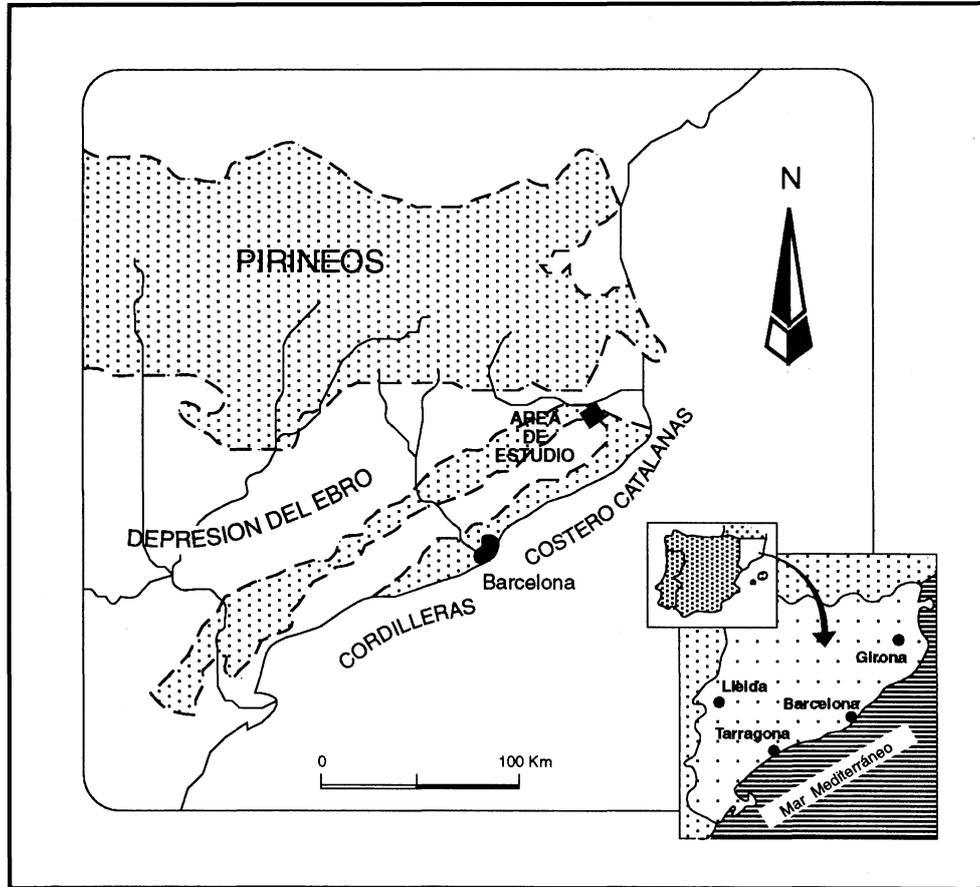
Tabla 1: Comparación de la escorrentía y la erosión en las 5 unidades estudiadas

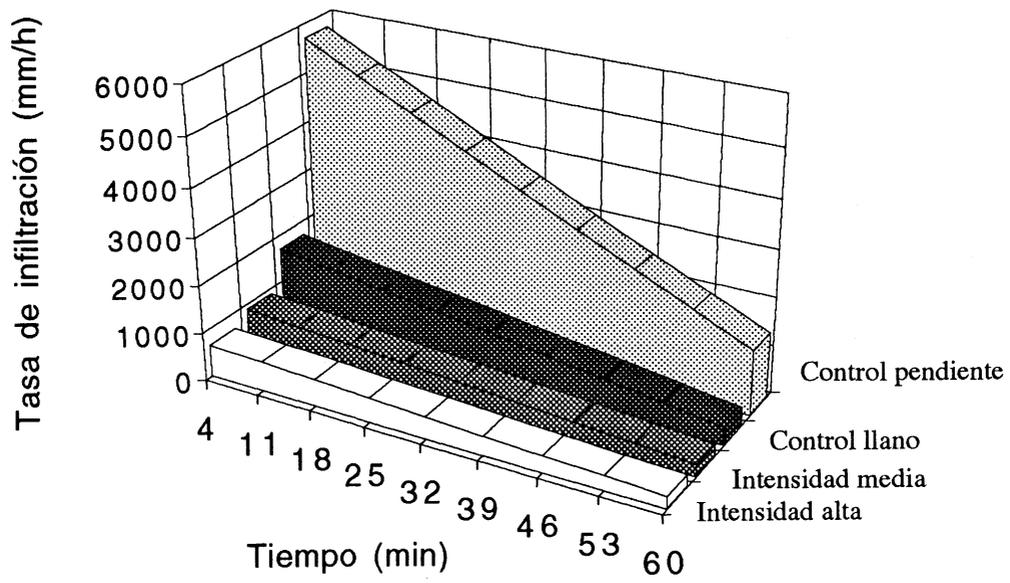
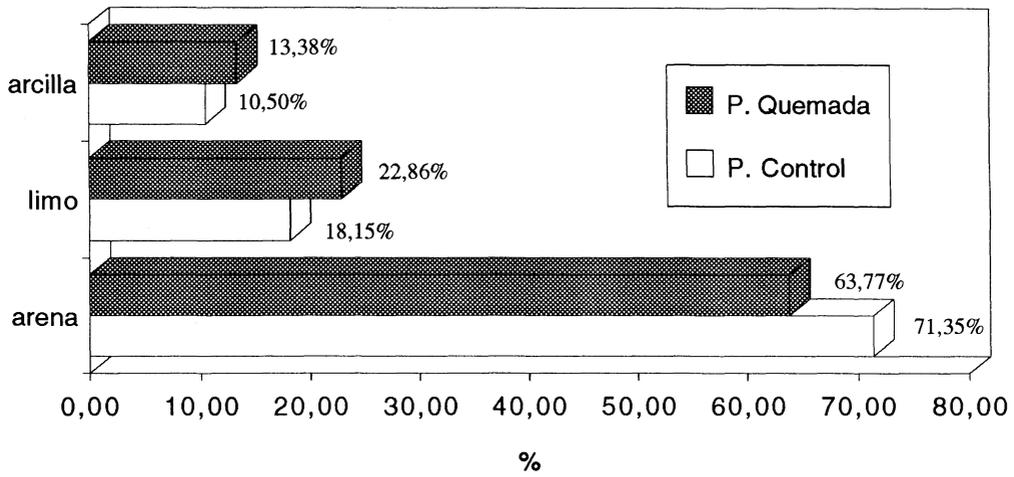
Figura 5: Evolución de la escorrentía en el bosque quemado

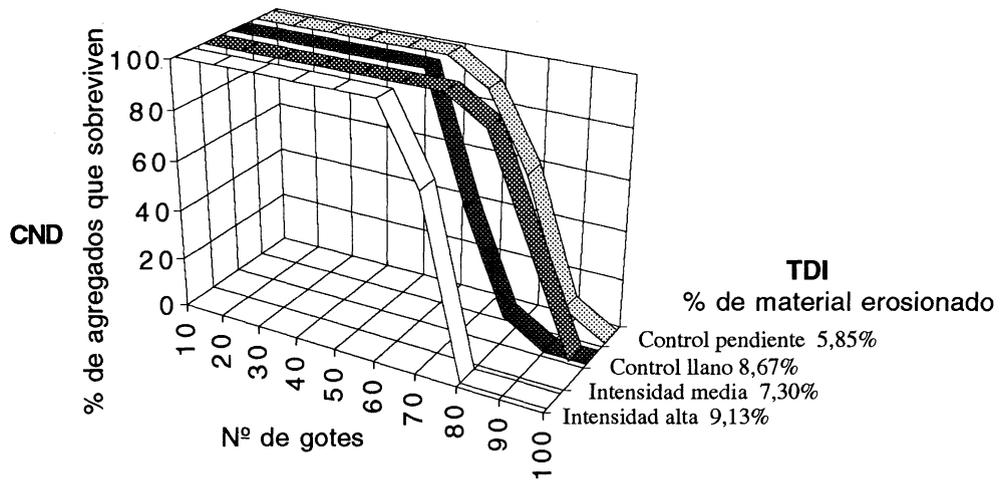
Figura 6: Evolución de los coeficientes de escorrentía en las tres áreas quemadas con diferente intensidad y comparación con la media del bosque control

Figura 7: Evolución de la erosión en el bosque quemado

Figura 8: Evolución de la relación erosión/precipitación en el periodo de estudio







	P. control (desde el 16/6/93 al 9/12/94)			Bosque Quemado (desde el 7/7/94 al 22/3/95)					
	VEGETACION		Fecha	BAJA		MEDIA		ALTA	
	DENSA	DISPERSA		INTENSIDAD	INTENSIDAD	INTENSIDAD	INTENSIDAD	INTENSIDAD	
					Fecha		Fecha		Fecha
Precipitación total (mm)	588	588		497		520		512	
Escorrentía total (l/m2)	13,100	14,190		1,370		37,210		24,750	
Erosión total (kg/m2)	0,012	0,157		0,014		0,635		3,056	
Max. Intens. Prec. (mm/h)	30	30	20/10/94	30	20/10/94	30	20/10/94	30	20/10/94
Máxima Escorrentía (l/m2)	3,100	3,200	20/10/94	0,710	22/7/94	6,000	20/10/94	8,000	20/10/94
Max. Coef. Escorren. (%)	6,350	10,000	7/3/94	8,930	22/7/94	37,430	1/9/94	33,650	14/9/94
Máxima Erosión (g/m2)	3,000	131,250	20/10/94	6,330	22/7/94	355,000	20/10/94	3250,000	20/10/94
Max. Eros./Escorren. (g/l)	10,000	41,020	20/10/94	93,330	25/8/94	136,250	22/7/94	464,290	20/10/94
Max. Erosión/Precip. (g/l)	0,190	0,680	20/10/94	0,790	22/7/94	22,710	22/7/94	16,750	20/10/94
Pendiente (%)	9	9		9		11		11	
Area (ha)				1,613		5,666		5,380	
Erosión total (T/ha/year)	0,080	1,000		0,200		8,460		40,740	

