

## INFLUENCIA DE LA INTENSIDAD DE QUEMADO SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO DESPUÉS DE UN INCENDIO FORESTAL

X. ÚBEDA

GRAM (Grup de Recerca Ambiental Mediterrània) Dpto. Geografia Física i AGR. Facultat de geografia i Història. Universitat de Barcelona. C/ Baldiri Reixac s/n. 08028 Barcelona.

**Abstract.** In this paper the changes in the soil after a forest fire are analysed according to some parameters. The particle size, and other soil parameters are affected in a different way depending on the intensity of the fire. Three zones were distinguished within a burned area and the results were compared with the results of a unburned control area. The amount of sand decreases with temperature, silt and clay increase depending on fire intensity. There was an increase of carbon in the low and medium intensity fire area and a general decrease of nitrogen. The potassium content increases in all zones and phosphorous only in the higher intensity zone. Calcium decrease in the low intensity area and magnesium decrease in all the zones.

**Key words:** Wild fire, Fire intensity, Soils, Physical and chemical changes

**Resumen.** En este artículo se analizan los cambios en algunos parámetros del suelo después de un incendio forestal. La textura del suelo y otros parámetros son afectados de diferente modo dependiendo de la intensidad alcanzada por el fuego en distintas zonas de un área afectada por un incendio. Se delimitaron tres zonas y los resultados obtenidos en cada una de ellas fueron comparados con los resultados de una área control sin quemar. Después del fuego hubo una disminución de la fracción arena y un aumento de la fracciones limo y arcilla. También se detectó un aumento de carbono en las zonas menos intensamente quemadas y un descenso general de la concentración de nitrógeno. El contenido de potasio en el suelo aumentó y también la de fósforo, especialmente en las zonas más intensamente quemadas. El calcio disminuyó en la zona de baja intensidad y el magnesio disminuye su concentración en todas las zonas.

**Palabras clave:** Incendio forestal, Intensidad de fuego, Suelos, Cambios físicos y químicos.

### INTRODUCCIÓN

Los suelos que han estado sometidos a una temperatura elevada evidencian, casi siempre, cambios en sus propiedades físicas y químicas. El interés del estudio de la física del suelo reside fundamentalmente en la relación directa que tiene con el estado y la circulación superficial del agua y con la capacidad de almacenamiento de ésta, así como del incremento de escorrentía, que lleva como

resultado una mayor erosión. Además la erosión modifica la respuesta hidrológica en el sentido que genera más escorrentía debido a la desaparición de la capa superior absorbente. Otro aspecto interesante para el estudio de estos cambios es el incremento de material susceptible de ser erosionado a causa de la desestructuración de suelos (Wells, 1981).

Los cambios físicos son atribuidos, en gran medida, a cambios químicos y mineralógicos producidos por el incremento de la tem-

peratura y 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 (Bemetrioux et al., 1960, Giovannini, 1994).

La tabla 1 resume los cambios que tienen lugar en el suelo dependiendo de la temperatura alcanzada. Hay que tener en cuenta que sólo se considera la temperatura alcanzada, obviando el tiempo de residencia de esta temperatura en el suelo, es decir, sólo se considera uno de los parámetros que definen la intensidad de fuego. Otro aspecto a considerar es

que una misma intensidad de fuego afectará de manera diferente a los primeros centímetros del suelo, siendo los efectos diferentes a más profundidad. De los muchos estudios realizados desde Heyward (1938) hasta Lucchesi et al. (1994) se puede concluir que la temperatura alcanzada en un incendio sólo tiene consecuencias en los primeros cinco centímetros del suelo.

El objetivo de este trabajo es conocer los cambios que experimentan algunos parámetros del suelo tras un incendio forestal y como influye en estos cambios una mayor o menor intensidad de fuego.

TABLA 1. Efectos en el suelo de las diferentes temperaturas. Dimitrakopoulos et al. (1994) ampliada por Úbeda (1998).

Temperatura °C	Efecto en el suelo
50-60	Temperatura letal para el protoplasma de las plantas
100	Descomposición de algunos componentes de nitrógeno del suelo
100-200	Temperatura letal para hongos y bacterias; evaporación del agua
200-300	Pérdida del 50% de nitrógeno. Empieza a disminuir el valor de pH. Desaparición de algunos componentes de la materia orgánica. Aumento de amonio, fósforo, calcio, magnesio y sodio. Descenso de la capacidad de absorber agua del suelo y de su plasticidad. Incremento de la fracción arena. Incremento/disminución de la estabilidad estructural (según autores). Incremento/disminución de la porosidad (según textura)
300	Desaparición por calcinación de la materia orgánica. Formación de una superficie hidrófoba
315	Incremento del pH del suelo. Disminución de la capacidad de intercambio catiónico
315-400	Pérdida del 75% de nitrógeno
400-550	Descenso de calcio, sodio, magnesio, desaparición de amonio, aumento progresivo de potasio. Descenso más drástico de la absorción de agua y de la plasticidad. Desaparición total de los residuos orgánicos
550-700	Dstrucción total de la materia orgánica. Pérdida de los OH de las arcillas, aumento de pH. Aumento de fósforo y potasio. Descenso de la estabilidad estructural
700-900	Oxidación del suelo, cambios irreversibles en las arcillas, descomposición de los carbonatos, incremento de calcio, magnesio, descenso de potasio. Aumento de la absorción de agua pero no de la plasticidad

## MATERIAL Y METODOS

### Area de estudio

El estudio que se presenta en este artículo está basado en un trabajo realizado sobre un incendio en el macizo de Cadiretes, localizado en el término municipal de Llagostera (Girona). El incendio de "Llagostera" comenzó el mediodía del día 5 de julio de 1994 y fue extinguido en seis horas, quemando un total

de 55 hectáreas del bosque, atribuyendo la causa del incendio a un hecho intencionado.

En la figura 1 se muestra la localización del área incendiada, dentro de la propiedad de Can Noguera, en las montañas de Llobatera. El punto más alto que resultó incendiado se sitúa a 350 m. La carretera que une Llagostera con Tossa de Mar delimita el incendio por la parte inferior de la vertiente quemada.

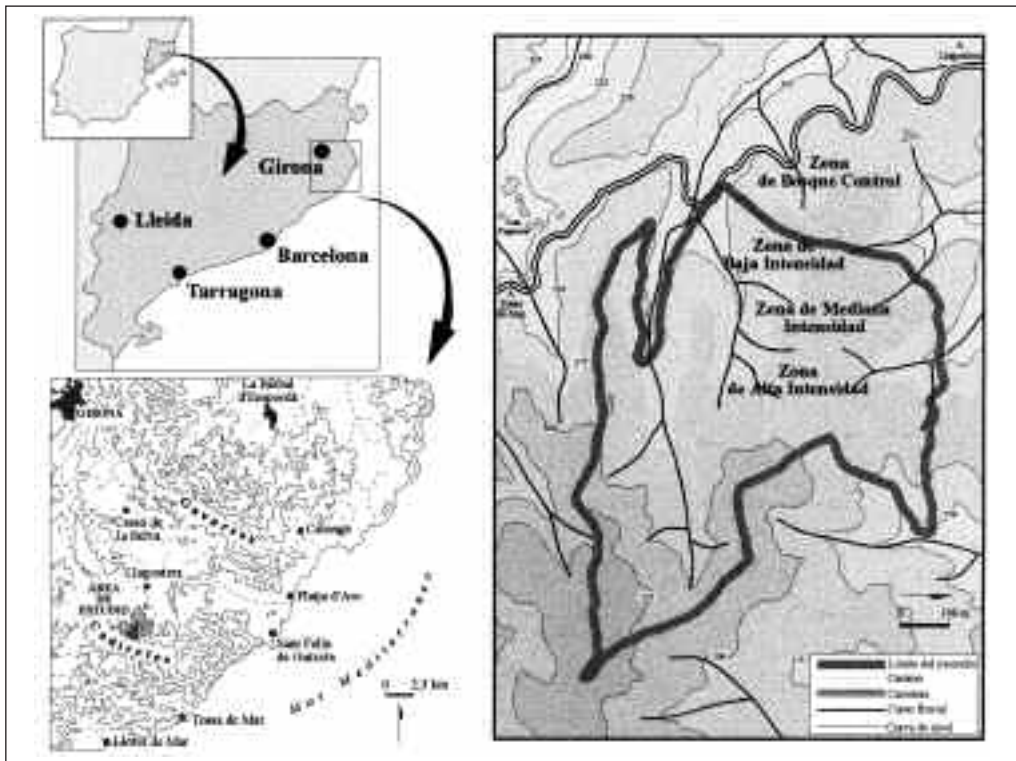


FIGURA 1. Mapa de localización del área quemada y de las zonas de diferente intensidad.

El macizo de Cadiretes es en su mayor parte de naturaleza granítica y con enclaves de rocas metamórficas, está dentro de la zona del alcornoque (*Quercetum ilicis galloprovinciale suberetosum*) apareciendo estos árboles en bosques de baja densidad, pero muy poblado de sotobosque lo que lo hace intransitable. El bosque que se quemó en julio de 1994, era una plantación de *Pinus*

*pinaster* con ejemplares muy bien alineados sobre terrazas hechas exclusivamente para este motivo. Las copas de estos árboles se tocan unas a otras desde la parte más baja hasta la superior de la vertiente. Los alcornoques también están presentes en el área quemada, notándose mucho más su presencia una vez que el fuego eliminó, en algunos lugares completamente, al *Pinus pinaster*. El

sotobosque, de este pinar y alcornocal, está compuesto por arbustos como *Arbutus unedo*, *Erica arborea*, *Rubia peregrina*, *Smilax aspera*, *Lonicera implexa* y *Ruscus aculeatus*. Además hay un importante estrato herbáceo predominantemente compuesto por *Brachypodiums*.

En el área quemada se delimitaron tres zonas de estudio, con la misma orientación y pendiente, según la intensidad del fuego. También se delimitó una zona de bosque control, muy cercano a las zonas quemadas y de iguales características fisiográficas y de vegetación para su estudio comparativo. (Figura. 1). El suelo se ha clasificado según la Soil Taxonomy como un Xerochrept típico.

### *Metodología para el establecimiento de las diferentes intensidades de fuego*

Inmediatamente después del incendio las diferentes intensidades de fuego fueron determinadas en el campo. Se distinguieron tres zonas mediante la observación del estado de los árboles y de las cantidades de ramas y hojas que permanecían en los árboles, así como la cantidad de hojarasca que había depositada en la superficie del suelo y la cantidad y color de las cenizas (Marion, et al., 1991, Moreno y Oechel, 1989). La vegetación después del incendio en las diferentes zonas tenía las siguientes características:

1. Zona 1 o de baja intensidad de fuego: Los árboles (*Pinus* y *Quercus*) mantenían algunas hojas (aunque no fueran totalmente de color verde), y un gran número de ramas, incluso pequeñas. Mucha hojarasca cubrió el suelo justamente después del incendio y no llegó a quemarse. Los *Quercus suber* sobrevivieron, y también algún *Pinus pinaster*. Esta zona está localizada alrededor de los torrentes y en la parte más baja de la vertiente. Debajo de la hojarasca depositada se podía observar la presencia de cenizas de color

muy negro, que aún perduraban en muchos lugares dos años y medio después del incendio.

2. Zona 2 o de mediana intensidad de fuego: Los árboles no tenían ninguna hoja, pero conservaban un número importante de ramas. No había mucha hojarasca en el suelo. Esta zona se sitúa alrededor de la zona de baja intensidad y en la parte superior de la vertiente. Las cenizas de color negro aún se conservan treinta meses después del incendio.
3. Zona 3 o de alta intensidad de fuego: Los árboles habían perdido todas las hojas y ramas, conservaban solamente el tronco. El *Arbutus unedo* había desaparecido, cosa que no pasaba en las otras zonas, y la superficie del suelo estaba totalmente desprotegida. La superficie del suelo justo después del incendio estaba cubierta por ceniza de color gris y blanco que desapareció rápidamente después de las primeras lluvias.

Las muestras analizadas fueron recogidas un día después del incendio, cuando todavía no se había producido ningún episodio de lluvia. Se realizó un muestreo de idénticas características en la zona de bosque control (sin quemar). Las muestras fueron recogidas centímetro a centímetro en los 3 cm superficiales, en cinco lugares diferentes de cada zona, consiguiendo una muestra compuesta formada por cinco muestras simples de unos 100 g cada una de ellas. La muestra resultante fue analizada y se realizó una réplica. Los resultados corresponden, a) a la media aritmética de los tres centímetros y b) a la media entre la muestra y su réplica.

Las determinaciones realizadas fueron las siguientes: textura, tras la eliminación de materia orgánica con  $H_2O_2$ , dispersión con  $(NaPO_3)_6$  y análisis en el Coulter Size Particle; carbono y nitrógeno, mediante analizador elemental; pH de la pasta saturada; Ca, Mg y P asimilables, extracción con acetato amónico a pH 7 y análisis mediante plasma

por inducción; potasio asimilable por absorción atómica.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

*Cambios en la textura del suelo*

Según la tabla 2, en las tres zonas de estudio la cantidad de arena disminuye justo después del fuego si comparamos los datos con la parcela control (-9,92% en la zona de

baja intensidad, -17,17% en la zona de media intensidad y -5,23% en la zona de alta intensidad de fuego). Al mismo tiempo la proporción de limos aumenta en las tres zonas (8,62%, 16,62% y 5,52% respectivamente). La fracción arcilla aumenta tan solo en las zonas menos intensamente quemadas (1,3% en la zona de baja intensidad y 0,54% en la zona de media intensidad) y disminuye en la zona más intensamente quemada (-0,29%).

TABLA 2. Media aritmética de los valores de arena, limo y arcilla de los tres centímetros superficiales en cada una de las tres zonas incendiadas en comparación con la parcela control.

	% arena		% limo		% arcilla	
	control	quemado	control	quemado	control	quemado
Intensidad baja	63,61	53,69	32,34	40,96	4,05	5,35
Intensidad media	63,61	46,44	32,34	48,96	4,05	4,59
Intensidad alta	63,61	58,38	32,34	37,86	4,05	3,76

La bibliografía existente (Bemetrieux et al., 1960, Giovannini, 1994) habla de una agregación de partículas después del incendio que produce un aumento de la fracción arena. En nuestro caso los resultados han sido totalmente opuestos. El hecho es que esta aglutinación posterior al incendio, referida en la bibliografía, viene dada por una cementación parecida a la que estructura a las partículas del suelo con el resultado final de la formación de agregados. La preparación de la muestra antes de realizar el análisis de textura (ataque con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y dispersión con hexametrafosfato sódico) puede tener el efecto contrario. En cualquier caso el fuego o la alta temperatura lo que puede llevar a cabo es una microignifrac-

ción que quizás se vea enmascarada por una eventual y débil reestructuración.

*Cambios en el contenido de carbono y nitrógeno*

Justo después del incendio hay un aumento del carbono en las zonas menos intensamente quemadas (4,1% en la zona de baja intensidad y 5,1% en la zona de media intensidad) y una leve disminución en la zona más intensamente quemada (-2,16%). El nitrógeno desciende en concentración en todas las zonas incendiadas después del incendio (-1,04, - 0,41 y -1,03% respectivamente, Tabla 3).

TABLA 3. Media aritmética de los valores de carbono y nitrógeno de los tres centímetros superficiales en cada una de las tres zonas incendiadas en comparación con la parcela control.

	% carbono		% nitrógeno	
	control	quemado	control	quemado
Intensidad baja	13,23	17,33	1,53	0,49
Intensidad media	13,23	18,33	1,53	1,12
Intensidad alta	13,23	11,07	1,53	0,50

Romanyà et al. (1994) hace una distinción entre baja y alta intensidad de fuego y observa una pérdida en carbono del 0,75% en la zona de baja intensidad y de un 1,75% en la zona de alta intensidad en los dos primeros centímetros del suelo. La disminución sufrida en los siguientes tres centímetros más profundos es de tan solo el 0,15%.

Como la cantidad de carbono está directamente relacionado con la cantidad de materia orgánica del suelo, no se va a observar una disminución drástica del contenido de carbono hasta que no se rebasen los 450°C que es cuando la combustión de materia orgánica es casi total (Giovannini, 1994, 1997), lo que sólo es significativo en fuegos de alta intensidad. Estos resultados coinciden con los de Sánchez et al. (1994) que observan un incremento de la materia orgánica en suelos que han sufrido fuegos de baja intensidad.

La concentración de nitrógeno desciende después de los incendios debido a que gran parte se volatiliza en forma de N<sub>2</sub> y se transforma en formas más complejas. Raison et al., (1992) observan después de un incendio un incremento de amonio y Romanyà et al. (1994) señalan un descenso de N superior en los dos primeros centímetros (126 mg kg<sup>-1</sup>) y menor en los siguientes tres centímetros (96 mg kg<sup>-1</sup>). También observan un descenso superior en la zona más intensamente quemada (85 mg kg<sup>-1</sup>). Giovannini (1997) también destaca el hecho de la pérdida de nitrógeno después de incendios forestales siendo más acusado cuanto más intenso es el fuego, fijan-

do la temperatura de 450°C como determinante para la pérdida del 75% de nitrógeno. Dimitrakopoulos et al., (1994) establecen esta temperatura entre 300 y 400°C.

Después de seis meses Sánchez et al. (1994) observan un descenso general de las concentraciones de nitrógeno comparándolas con las concentraciones halladas justo después del incendio. Blank y Zamudio (1998) observan el mismo hecho y lo atribuyen al consumo producido para la germinación de ciertas especies que aparecen en condiciones de post-incendio.

#### *Cambios en el contenido de calcio, magnesio, potasio y fósforo asimilables*

El contenido de calcio asimilable disminuye sólo notablemente en la zona de baja intensidad de fuego (-340 ppm) y, por el contrario, aumenta en la zona de media intensidad (500 ppm). En la zona de alta intensidad la variación es menos acusada (-26 ppm). La concentración de magnesio disminuye en todas las zonas (-456 ppm, -111 ppm y -395 ppm, Tabla 4).

Sánchez et al. (1994) obtiene una marcada disminución en las concentraciones de calcio y magnesio en las muestras recogidas en una parcela quemada a baja intensidad. Giovannini (1997) señala un aumento en la concentración de calcio y magnesio desde los 170 °C hasta los 500 °C, y un descenso a partir de esta temperatura. Pero Blank y Zamudio (1998) señalan diferencias en el comportamiento de las concentraciones

TABLA 4. Media aritmética de los valores de calcio, magnesio, potasio y fósforo asimilables de los tres centímetros superficiales en cada una de las tres zonas incendiadas en comparación con la parcela control.

	Calcio (mg g <sup>-1</sup> )		Magnesio (mg g <sup>-1</sup> )		Potasio (mg g <sup>-1</sup> )		Fósforo (mg g <sup>-1</sup> )	
	control	quemado	control	quemado	control	quemado	control	quemado
Intensidad baja	1442	1102	678	222	157	260	6,10	4,57
Intensidad media	1442	1942	678	567	157	345	6,10	4,07
Intensidad alta	1442	1416	678	283	157	302	6,10	3,93

dependiendo de la vegetación que se incendie. De las cuatro especies analizadas por estos últimos autores existe una disminución de calcio y magnesio en la zona de *Pinus jeffreyi*.

El potasio es el elemento que experimenta un incremento en su concentración más generalizado en todas las zonas (103, 188 y 145 ppm respectivamente). Diversos autores obtuvieron resultados semejantes (Sánchez *et al.*, 1994, Giovannini, 1997, Blank y Zamudio, 1998). El aumento se atribuye a la ceniza producida tras la combustión de la vegetación, aunque Dimitrakopoulos *et al.* (1994) señalan que si la temperatura alcanza los 500 °C hay volatilización de potasio y, si no hay suministro de potasio por parte de la vegetación, la concentración de potasio se verá reducida después del incendio.

La concentración de fósforo disminuye en estos tres primeros centímetros (-1,53, -2,03 y -2,17 ppm respectivamente), aunque si solo se observa el primer centímetro la cosa cambia (2,35, 2,5 y 1,15 ppm, Tabla 5).

TABLA 5. Valores de fósforo asimilable en el primer centímetro del suelo en cada una de las tres zonas incendiadas en comparación con la parcela control.

Concentración de fósforo en el primer centímetro del suelo (ppm)	control	quemado
Intensidad baja	8,4	10,75
Intensidad media	8,4	10,90
Intensidad alta	8,4	9,55

Romanyà *et al.* (1994) aprecian un aumento de fósforo solo destacable en los dos primeros centímetros y no así a más profundidad. Además, este aumento es mucho mayor cuando la intensidad del fuego es más elevada (28 mg kg<sup>-1</sup> en la zona de baja intensidad y 70 mg kg<sup>-1</sup> en la de alta). Giovannini

(1997) también comparte esta afirmación, señalando que cuando hay un aumento notable en la concentración de fósforo es a partir de los 460 °C. Romanyà *et al.* (1994) señalan como responsables de este incremento al aumento de la temperatura capaz de mineralizar el fósforo orgánico más que a la adición de fósforo por parte de la combustión de la vegetación.

### Cambios en el pH del suelo

El pH del suelo aumentó de valores inferiores a 7 a valores de 8 en las tres zonas después del incendio. Las zonas más intensamente quemadas fueron las que obtuvieron valores más elevados. Después de dos años los valores de pH del suelo disminuyen pero continúan siendo superiores a los de la zona de bosque control (Figura 2).

Todos los autores observan un aumento de los valores del pH después de un incendio (Giovannini, 1994, 1997; Dimitrakopoulos *et al.*, 1994). Romanyà *et al.* (1994) destaca mayores incrementos en los primeros centímetros: de 4,28 a 6,42 en los dos primeros centímetros y de 4,31 a 4,54 en los tres siguientes. También el incremento es mayor cuando aumenta la intensidad (de 4,28 pasa a 7,82 en superficie y de 4,31 a 6,90 en los siguientes tres centímetros).

Estos cambios en el pH se deben, según Giovannini (1994), a la pérdida de grupos hidróxilo por parte de las arcillas y a la formación de óxidos derivados de la disociación de carbonatos. No obstante, Giovannini subraya que es necesaria una temperatura superior a 450 °C para que este incremento sea notable.

### CONCLUSIONES

La gran ventaja de realizar estudios sobre fuegos fortuitos es que los datos provienen de un hecho real y no ficticio como puede ser un ensayo de laboratorio. La desventaja reside en que por mucho que se comparen con los de

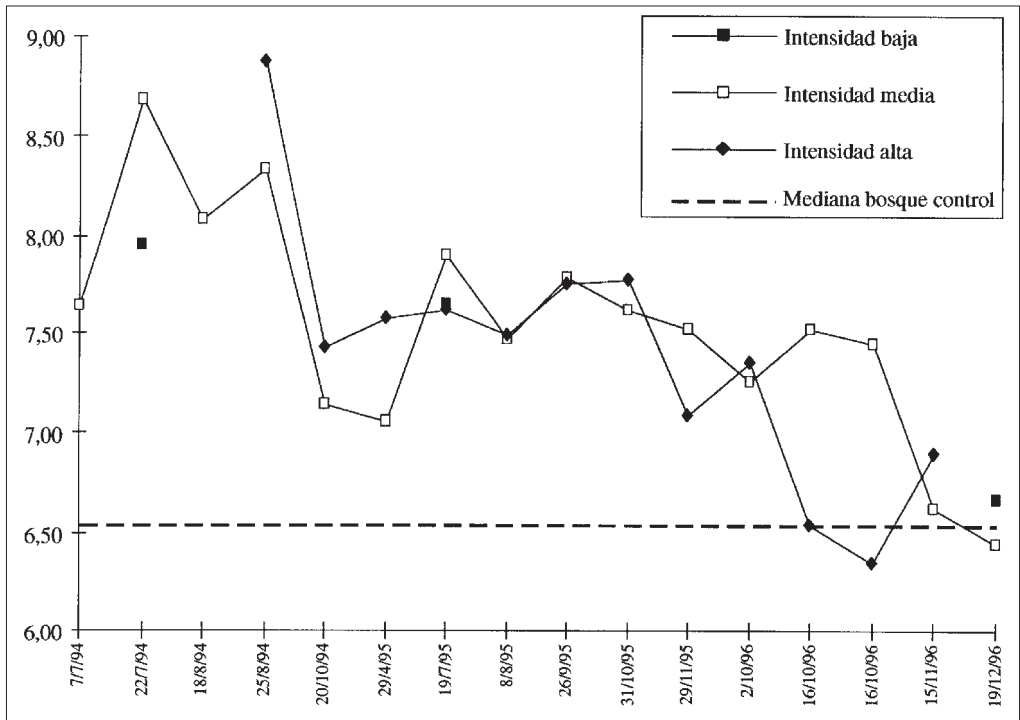


FIGURA 2. Evolución del pH del suelo en las cuatro zonas de estudio.

una parcela control queda la duda de si los valores de partida eran idénticos.

Como se puede comprobar en la discusión, algunos de los resultados son parecidos a los obtenidos por otros autores, pero otros resultados son diferentes. A la hora de comparar datos obtenidos en diferentes trabajos se tienen que tener en cuenta: tipo de suelo, tipo de vegetación, profundidad y, como en este presente trabajo queda reflejado, la intensidad del fuego que provocó los cambios en el suelo.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se llevó a cabo gracias al proyecto de la Comunidad Europea EV5V-CT91-0043 "Desertification Risk Assessment and Land Use Planning in a Mediterranean Coastal Area".

#### REFERENCIAS

- Bemtrieux, R., Le Borgne, E., y Monnier, G. (1996): Evolution of certain properties of soil under the influence of heating. *C. R. Acad. Sci, Paris*, 251, 2753-2755.
- Blank, R. R., Zamudio, D. C. (1998): The influence of wildfire on aqueous-extractable soil solutes in forested and wet meadow ecosystems along the eastern front of the Sierra Nevada Range, California. *Int. J. Wildland Fire*, 8 (2), 79-85.
- Dimitrakopoulos, A. P., Martin, R. E. Y papamichos, N. T. (1994): En: Sala, M y Rubio, J. L. Eds. *Soil erosion as a consequence of forest fires*. Geoderma Ediciones, Logroño, 199-206.
- Giovannini, G (1994): The effect of fire on soil quality. En : Sala, M y Rubio, J. L.

- Eds. *Soil erosion as a consequence of forest fires*. Geoderma Ediciones, Logroño, 15-27.
- Giovannini, G (1997): The effect of fire on soil quality – Physical and chemical aspects. En: *Forest fire risk and management. Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards course*, European Commission, 217-248.
- Heyward, F (1938): Soil temperatures during forest fires in the longleaf pine forest. *J. For*, 36, 478-491.
- Lucchesi, S., Ansaldi, M y Giovannini, G. (1994): Regeneration of Mediterranean maquis after the passage of an experimental fire. En: Sala, M y Rubio, J. L. Eds. *Soil erosion as a consequence of forest fires*. Geoderma Ediciones, Logroño, 177-183.
- Marion, G. M, Moreno, J. M., y Oechel, W. C. (1991): Fire severity, ash deposition and clipping effects on soil nutrients in chaparral. *Soil Science Society American Journal*, 55, 235-240.
- Moreno, J. M. y Oechel, W. C. (1989): A simple method for estimating fire intensity after a burn in California chaparral. *Acta Oecológica* 10/1, 57-68.
- Raison, R. J. Conell, A. M. Khanna, P. K y Keith, H. (1992): Effects of repeated fires on nitrogen and phosphorous budgets and cycling processes in forest ecosystems. En: L. Trabaud and R. Prodon Eds. *Fire in Mediterranean Ecosystems*, 347-363.
- Romanyà, J., Khanna, P. K y Raison, R. J. (1994): Effects of slash burning on soil phosphorous fractions and sorption and desorption of phosphorous. *Forest Ecology and Management*, 65, 89-103.
- Sala, M. y Batalla, R. (1996): *Teoría y métodos en Geografía Física*. Editorial síntesis, Col. Espacios y Sociedades, nº 1, 303 p.
- Sánchez, J. R., Mangas, V. J., Ortiz, C., y Bellot, J. (1994): Forest fire effect on soil chemical properties and runoff. En: Sala, M y Rubio, J. L. Eds. *Soil erosion as a consequence of forest fires*. Geoderma Ediciones, Logroño, 53-65.
- Tarrant, R. F. (1953): Effect of heat on soil color and pH of two forest soils, *USDA For. Serv. Res. Note*, PNW-90, 50 p.
- Úbeda, X. (1998): *Efectes de les diferents intensitats de foc, durant els incendis forestals, en els paràmetres físico-químics del sòl i en l'increment de l'escolament i l'erosió*. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona.
- Wells, C. G. (1981): Some effects of brushfires on erosion processes in Coastal Southern California. En: *Erosion and sediment transport in Pacific Rim Stepplands*. IAHS. Publ. N° 132, Christchurch.

