

Invest Agrar: Sist Recur For (2006) 15(3), 262-270

## Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo

E. Afif Khouri\* y J. A. Oliveira Prendes

*Departamento de Biología de Organismos y Sistemas. Escuela Universitaria de Ingenierías Técnicas. Universidad de Oviedo. Gonzalo Gutiérrez de Quirós, s/n. 33600 Mieres. España*

### Resumen

Se evaluaron las propiedades edáficas en un segmento de pendiente de 2,68 ha del «monte Tuña», municipio de Tineo, afectado por quema controlada a hecho descendente de *Erica* y *Ulex* con un rendimiento de 1,5 ha h<sup>-1</sup>. Las alteraciones en el suelo, inmediatamente después de la quema y a los 7, 30 y 90 días, se produjeron a 0-2, 2-5 y 5-10 cm de profundidad, demostrando la existencia de un incremento temporal de la fertilidad de los suelos quemados (aumento de C, N, K, Ca, Mg y sobre todo de P asimilable). Justo después del fuego hubo una disminución de la fracción arcilla y un aumento de la fracción arena y viceversa a los 7, 30 y 90 días de la quema. El aumento de fertilidad tras la quema podría ser aprovechado para el rápido establecimiento de una cubierta vegetal debido a la brotación de la vegetación quemada.

**Palabras clave:** análisis de suelo, degradación de suelo, quema controlada.

### Abstract

#### Effects of prescribed fire on heath in soil properties

The edaphic factors have been evaluated in a sloping segment of 2,68 ha of the «Tuña» woodland municipality of Tineo, affected for descending controlled burns of *Erica* and *Ulex* with a yield of 1,5 ha h<sup>-1</sup>. The soil alterations, immediately after the controlled burns and to the 7, 30 and 90 day, took place to 0-2, 2-5 and 5-10 cm of depth, showing the existence of a temporary increment of the soil fertility (increase of C, N, K, Ca, Mg and specially of available P). Immediately after the fire, clay fraction diminished and sand it increased and vice versa to the 7, 30 and 90 days of the controlled burns. The increase of soil fertility after the fire it could be taken advantage for the quick establishment of a vegetal cover due to the regrowth of the burned vegetation.

**Key words:** controlled burns, soil analysis, soil degradation.

### Introducción

Dentro de los países de la cuenca mediterránea, el Área de Defensa Contra Incendios Forestales de la Dirección General de la Conservación de la Naturaleza (DGCONA) del Ministerio de Medio Ambiente, sitúa a España en los primeros lugares en cuanto a la superficie forestal quemada, con un porcentaje medio de esta década de 0,55%. Asturias se considera una región de alto riesgo de incendios, la mayoría de ellos causados por negligencias graves (Prieto, 1989). En el año 2004 sólo en el municipio de Tineo se han producido 67 incendios con una superficie forestal quemada de

321,66 ha. Una herramienta adecuada y barata para poner barreras a la propagación del fuego son las quemas controladas, cuya planificación y ejecución con la puesta en marcha de equipos de prevención integral (EPRIF) recientemente en España, es demandada con fines agrícolas, ganaderos y hasta cinegéticos (Martínez, 2001; Porrero, 2001). Es aceptado que, bajo ciertas condiciones, el fuego puede ser una alternativa práctica para la selvicultura (Wade, 1989; Vélez, 1990).

Con una quema adecuadamente planificada se alcanzan varios objetivos: reducir la materia combustible peligrosa ya que regula su densidad, su composición y el nivel de materiales y por ende disminuye los riesgos de ocurrencia de incendios de gran intensidad; eliminar vegetación indeseable; estimular el crecimiento de pastos de interés ganadero y proveer rebrotes nutritivos para el ganado; contribuir al control de

\* Autor para la correspondencia: [elias@uniovi.es](mailto:elias@uniovi.es)  
[oliveira@uniovi.es](mailto:oliveira@uniovi.es)

Recibido: 11-10-05; Aceptado: 15-09-06.

plagas y enfermedades y a la preparación del suelo para sembrar o plantar. Sin embargo, las quemas controladas evidencian, casi siempre, un incremento de material susceptible de ser erosionado a causa de la desestructuración del suelo y una mayor circulación superficial del agua debido a la eliminación de la cubierta vegetal (Inbar *et al.*, 1998). El grado de protección de la vegetación es muy diferente según el tipo de la superficie evaporante, variando desde un 70% de protección de matorral denso de *Ulex* o *Erica* hasta el 20% de un prado de gramíneas, pasando por el 50 ó 60% de los bosques de pino o roble (Calvo de Anta *et al.*, 1979). La destrucción de ésta cubierta vegetal, sobre todo, por los incendios forestales, puede dejar parcial o totalmente expuesta la superficie del suelo y, por consiguiente, sometida al riesgo de erosión que normalmente conllevan las lluvias de los inviernos asturianos.

La erosión del suelo por escurrimiento hídrico, cuyo origen está en la acción del agua sobre una superficie desprovista de cobertura vegetal, es quizás el proceso más importante en la degradación del suelo, dado que es irreversible y generalmente de gran magnitud (Díaz-Fierros *et al.*, 1990; Rubio *et al.*, 1997; Andreu *et al.*, 2001).

Numerosos investigadores asumen que el fuego hace que se incrementen las tasas de escorrentía y las pérdidas de sedimentos (Giovannini y Lucchesi, 1991; Andreu *et al.*, 1994; Rubio *et al.*, 1997; Inbar *et al.*, 1998). De Luis *et al.* (2003) analizaron los efectos combinados de la lluvia torrencial y los incendios forestales en una comunidad arbustiva con formación de matorral dominado por *Ulex parviflorus* mediante quemas controladas y simulación de lluvia torrencial, mostrando que tras el fuego la erosión aumenta de manera notable respecto al suelo no quemado (valores entre 300 y 8.420 Mg ha<sup>-1</sup>), dando una relación del sedimento producido entre parcelas quemadas y no quemadas de 7:1, 14:1 y 423:1, dependiendo de la severidad del fuego, definida por Rowe (1983) como el grado de materia orgánica consumida por el fuego y la temperatura alcanzada. Estos valores concuerdan con los obtenidos en comunidades semejantes con elevado riesgo de incendio por Carreira y Niell (1995) y Soto *et al.* (1997), quienes encontraron incrementos de erosión de 13 y 16 entre suelos quemados y no quemados, mostrando que la cubierta vegetal es sumamente efectiva en el control de la erosión del suelo.

Otros autores sugieren que, a pesar de que ciertamente la escorrentía y los sedimentos pueden incrementarse tras las quemas controladas, el conjunto de

pérdidas es muy pequeño en comparación con las generadas por otro tipo de perturbaciones y por tanto la influencia del fuego prescrito en la respuesta hidrológica puede ser considerada insignificante (Kutiel e Inbar, 1993; Kutiel, 1994), o solamente manifiesta sus efectos en los momentos inmediatos al fuego (Díaz-Fierros *et al.*, 1990). Martínez (2001) señala que si se compara la quema controlada con la preparación de terreno con maquinaria pesada, el efecto erosivo de ésta es muy superior al que produce el fuego.

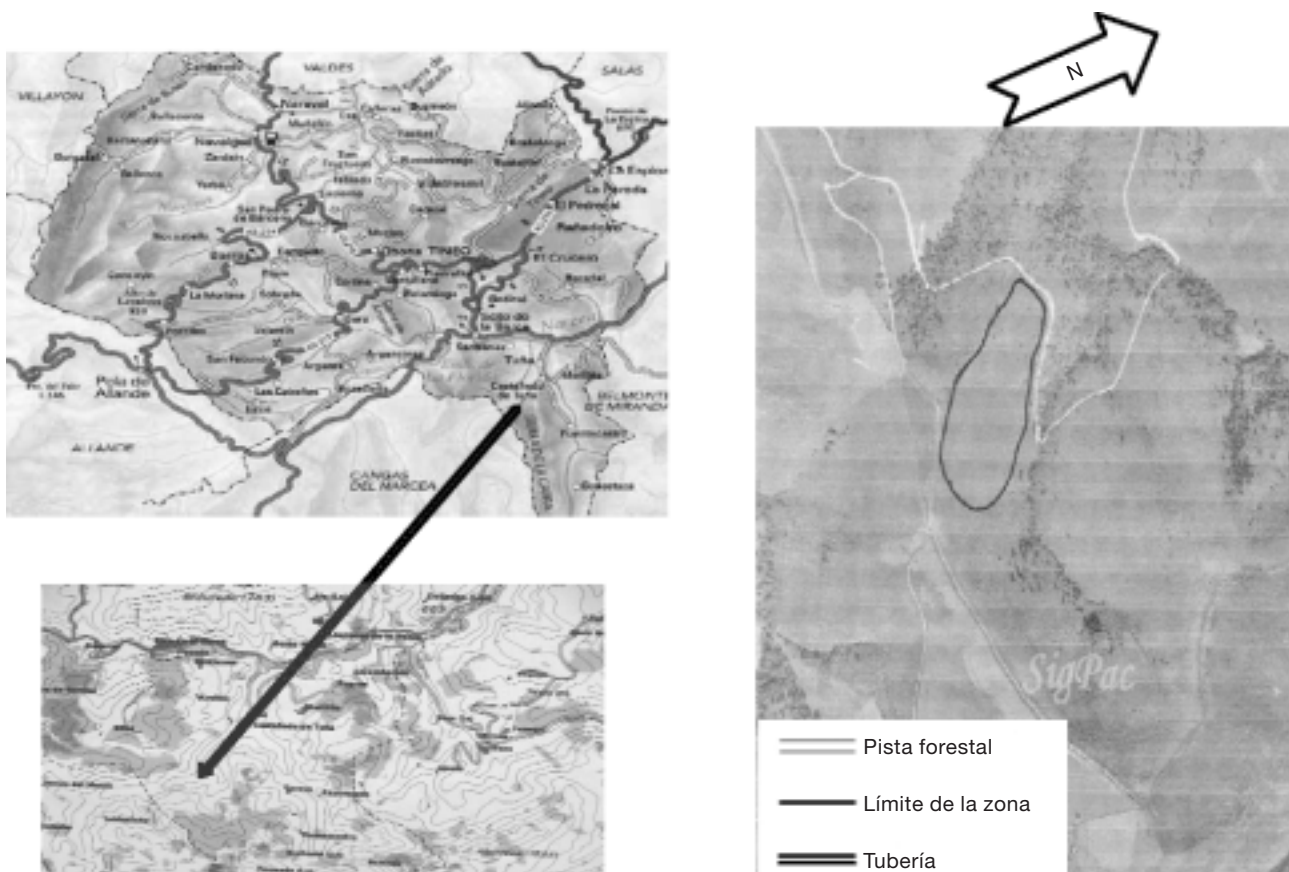
Existe un gran volumen de información sobre el uso de las quemas controladas con finalidad preventiva y medioambiental, pero aún no están lo suficientemente estudiados los efectos de las temperaturas extremas que se generan durante el proceso de quema sobre las propiedades de los suelos, teniendo en cuenta que las consecuencias positivas o negativas del fuego dependen, sobre todo, del tipo de suelo y su contenido de humedad, de la intensidad, extensión y duración de la quema, de la cantidad de material vegetal consumido y de las condiciones climáticas tras el incendio (Chandler *et al.*, 1983; Sanroque *et al.*, 1985; Marcos *et al.*, 1999).

El interés del estudio de las propiedades físicas y químicas de los suelos forestales afectados por el fuego reside fundamentalmente en valorar la disponibilidad de nutrientes, básicamente los elementos esenciales, en relación con el estado de humedad del suelo, así como la pérdida de materia orgánica, los cambios en la textura del suelo y el incremento de escorrentía, que lleva como resultado una mayor erosión (Giovannini, 1994; Úbeda, 2001). Otro aspecto a considerar es que la temperatura alcanzada en un incendio tiene mayor consecuencia en los primeros cinco centímetros del suelo, siendo los efectos diferentes a mayor profundidad (Luchéis *et al.*, 1994).

El fuego, a veces enemigo, a veces amigo, en cualquier caso, siempre repercute sobre los recursos naturales existentes en cualquier ecosistema. Es esencial, por consiguiente, tener en cuenta su efecto probable al formular planes y programas de desarrollo forestal. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es analizar los cambios que experimentan algunas de las propiedades del suelo tras una quema controlada de matorral.

## Material y Métodos

La zona de estudio, el monte comunal denominado «monte Tuña», se encuentra situada en el municipio de Tineo (Fig. 1), provincia de Asturias (UTM: 29 X712669;



**Figura 1.** Mapa de localización del área quemada en el monte Tuña, municipio de Tineo, Asturias.

Y4790512), a una altitud de 970 m, siendo la cota más baja 910 m. El suelo se clasifica como *Ustochrept* (Ministerio de Medio Ambiente, 1996) desarrollado sobre areniscas feldespáticas (Instituto Geológico y Minero de España, 1977). La vegetación está formada por *Erica australis* y *Ulex europaeus* (60:40) en la parte baja de la ladera, y por *Erica arborea* y *Ulex europaeus* (75:25) en la zona alta. Las gramíneas, sobre todo *Agrostis sp.pl.* y otras especies pratenses, como *Daboecia cantábrica*, ocupan los claros que dejan las formaciones arbustivas. El uso del monte es el pastoreo de ganado bovino y equino, en forma mancomunada. El clima de la zona es de tipo atlántico (europeo) según Rivas-Martínez *et al.* (1987). La precipitación y la ETP media anual es de 1.131 y 667 mm respectivamente. La temperatura media anual de 12,3°C. La orientación de la zona es NE, con una pendiente del 46,7%.

El «monte Tuña» tiene una superficie de 10 ha, de las cuales se quemaron 2,68 ha, el 15 de diciembre de 2004 con un fuego prescrito de matorral realizado por 6 bomberos de Tineo y Cangas del Narcea con la pre-

sencia de un guarda forestal y dos técnicos del EPRIF de Asturias. La quema fue a hecho con viento y ladera en contra (quema descendente), alcanzando un rendimiento de 1,5 ha h<sup>-1</sup> bajo las siguientes condiciones: velocidad y dirección del viento (0,5 km h<sup>-1</sup>, N), humedad relativa 50%, temperatura 12,6°C, humedad de combustible fino muerto 10% y suelo húmedo. En la parcela asegurada perimetralmente por las fajas desbrozadas, la pista y cortafuegos, iniciaron la quema con dos antorchas en la parte alta de la parcela desde el centro hacia los bordes siguiendo la línea del cortafuego, avanzando posteriormente ladera abajo con el fin de asegurar los flancos. Finalmente, incendiaron tres fajas por curva de nivel a distintas alturas, realizando la última de ellas en la parte más baja de la parcela.

El muestreo de suelo en la zona afectada se realizó una hora antes de la quema, inmediatamente después, a los 7, 30 y 90 días a 0-2, 2-5 y 5-10 cm de profundidad, por ser los más afectados por el fuego y donde se producen los principales cambios (Luchéis *et al.*, 1994; Marcos *et al.*, 1999; Úbeda, 2001). Las muestras se to-

maron con la ayuda de una sonda holandesa en un recorrido zig-zag, evitando los límites de la parcela, con el fin de tener una muestra representativa compuesta por la homogenización de 15 muestras simples de unos 100 g cada una de ellas para cada profundidad. Las muestras de suelo se secaron al aire a temperatura ambiente, se desmenuzaron, trituraron suavemente y se hicieron pasar por un tamiz de 2 mm de luz de malla circular para quitar los elementos gruesos. En ellas se determinó la textura según el método de la pipeta usando hexametáfosfato sódico más  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  como dispersante; el pH potenciométricamente en una suspensión suelo:agua 1:2,5; sales solubles en el extracto 1:5; bases extraíbles, con  $\text{ClNH}_4$  1 N, por absorción atómica; nitrógeno total por el método Kjeldahl (Bremmer y Mulvaney, 1982); el carbono orgánico por ignición y el fósforo disponible se determinó por el método de Mehlich 3 (Mehlich, 1985), por ser el más adecuado para la estimación de fósforo asimilable en una amplia gama de suelos no calcáreos (Fernández, 1997; Monterroso *et al.*, 1999). Los análisis se realizaron por duplicado en cada fecha de muestreo y para todas las profundidades, presentando la media como resultado.

Simultáneamente a la recogida de suelo e inmediatamente después de la quema, se tomaron 10 muestras de cenizas y restos carbonizados depositados en la superficie, evitando la mezcla con el suelo. Las muestras de cenizas fueron mezcladas para lograr una muestra homogénea común, secada al aire y pasada por un tamiz de luz de malla de 1 mm, de manera que se consideraron cenizas al material que pasaba a través del tamiz y al resto se le denominó restos parcialmente carbonizados (Moreno y Oechel, 1991; Marcos *et al.*, 1999). En las cenizas obtenidas se determinaron por duplicado el pH, conductividad eléctrica, nitrógeno total, contenido de carbono, fósforo asimilable y cationes solubles en agua (1:50).

Los datos obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las capas superficiales y subsuperficiales, utilizando el programa SPSS 12.0 (SPSS, 2004).

## Resultados y Discusión

El porcentaje de cenizas producido en la parcela quemada fue de 46% frente a un 54% de restos parcialmente carbonizados debido, sobre todo, a la delgada capa de hojarasca acumulada sobre el suelo húmedo y el alto contenido de humedad en los arbustos antes de la quema, lo que tuvo una gran influencia sobre el comportamiento del incendio (Marcos, 1997). Las cenizas se caracterizaron por un elevado contenido en carbono y un pH de 7,5 (Tabla 1) de acuerdo con lo encontrado por Marcos *et al.* (1999), mientras que los valores de pH citados por Soto y Díaz-Fierros (1993) oscilan entre 9 y 12. La composición química de las cenizas es debida a la composición del material quemado y a las condiciones de la quema, en las que se deduce que la combustión estuvo inhibida por la aparición de un alto porcentaje de restos parcialmente carbonizados (Raison, 1979).

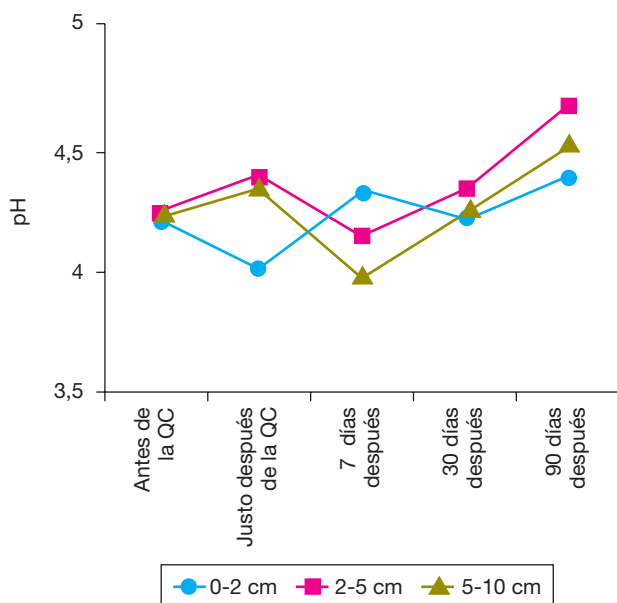
El pH del suelo no fue modificado por el fuego pese a la multitud de datos (Raison, 1979; Dimitrakopoulos *et al.*, 1994; Romanyá *et al.*, 1994; Giovannini, 1997; Úbeda, 2001), que muestran un aumento significativo del pH en los suelos incendiados, éste no pudo ser detectado en la parcela de estudio donde los valores del mismo no muestran ningún tipo de diferencia ni tendencia significativa ( $F = 3,309$ ;  $p > 0,05$ ) (Fig. 2). Por otro lado, diversos autores (Debano y Conrad, 1978; Díaz-Fierros *et al.*, 1982; Wilbur y Christensen, 1983; Marcos *et al.*, 1999) señalan que en quemas de baja intensidad no se detectan variaciones de pH o, si se detectan, estas son muy pequeñas. En este caso ni la cantidad ni la composición de las cenizas fueron suficientemente elevadas para producir modificaciones de pH en el suelo. Los cambios en el pH se deben, según Giovannini (1994), a la pérdida de grupos hidrófilos por parte de las arcillas y a la formación de óxidos derivados de la disolución de carbonatos. No obstante, Giovannini subraya que es necesaria una temperatura superior a  $450^\circ\text{C}$  para que este incremento sea notable.

Respecto de la textura a 0-2, 2-5 y 5-10 cm de profundidad (Tabla 2), y justo después del fuego, decre-

**Tabla 1.** Composición química de las cenizas

pH <sup>2</sup>	CE <sup>2</sup> (dS m <sup>-1</sup> )	C (%)	N (%)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	K (mg kg <sup>-1</sup> )	Na (mg kg <sup>-1</sup> )
7,5	0,06	24,6	4,7	13	3.084,84	285,36	301,96	80,45

<sup>1</sup> pH (H<sub>2</sub>O) relación suelo:disolución (1:2,5). <sup>2</sup> Conductividad eléctrica en el extracto (1:5) medida a 25°C.



**Figura 2.** Evolución del pH en la parcela de estudio.

ce el contenido en arcilla a la par que aumenta el de arena, mientras que a los 7, 30 y 90 días de la quema aumenta significativamente el contenido en arcilla ( $F = 5,549$ ;  $p < 0,05$ ) a la par que decrece el de arena. Estos cambios estadísticamente no significativos en el caso de arena ( $F = 2,789$ ;  $p > 0,05$ ), pueden ser debidos a una aglutinación de partículas después del incendio con el resultado final de formación de agregados no estables que producen un aumento temporal en la fracción arena, lo que viene a coincidir con lo observado por Giovannini (1994) y Bemetrieux *et al.* (1996). Ulery y Graham (1993) y Ketterings *et al.* (2000), también encontraron que temperaturas por encima de  $275^{\circ}\text{C}$  afectan a la textura del suelo al hacer decrecer gradualmente el contenido en arcilla a la par que aumenta el de arena. En cualquier caso, la alta tem-

peratura, lo que puede llevar a cabo es una microignición fraccionada que quizás se ve enmascarada por una eventual y débil reestructuración.

El porcentaje de carbono aumenta inmediatamente después del incendio (3,97, 4,04 y 2,43% a 0-2, 2-5 y 5-10 cm de profundidad respectivamente) (Tabla 3), observando, a partir de allí, una leve y gradual disminución significativa a los 7, 30 y 90 días ( $F = 4,192$ ;  $p < 0,05$ ). Como la cantidad de carbono está directamente relacionada 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  $450^{\circ}\text{C}$  que es cuando la combustión de materia orgánica es casi total (Giovannini, 1994, 1997; Úbeda, 2001), lo que sólo es significativo en fuegos de alta intensidad. Estos resultados coinciden con los de Díaz-Fierros *et al.* (1982), Sánchez *et al.* (1994) y Úbeda (2001) que observan un incremento de la materia orgánica en suelos que han sufrido fuegos de baja intensidad.

La concentración del nitrógeno total aumenta inmediatamente después del incendio y a los 7 días en los primeros dos y cinco centímetros de profundidad, mientras que en la capa subsuperficial (5-10 cm) disminuye gradualmente hasta alcanzar el 0,08% a los 90 días (Tabla 3). Las variaciones significativas en el contenido de nitrógeno total a lo largo del tiempo ( $F = 3,556$ ;  $p < 0,05$ ) no fueron proporcionales a los cambios observados en la materia orgánica, en concordancia con lo observado por Christensen (1973) y Marcos *et al.* (1999). Según De Lillis (1993) el contenido de nitrógeno en los suelos quemados tiende a incrementar o disminuir, a lo largo del tiempo, según la abundancia de herbáceas perennes. Sánchez *et al.* (1994) y Blank y Zamudio (1998) observan un descenso general de las concentraciones de nitrógeno después de seis meses comparándolas con las concentra-

**Tabla 2.** Valores de arena, limo y arcilla en la zona de estudio antes y después de la quema controlada a 0-2, 2-5 y 5-10 cm de profundidad

Profundidad (cm)	% arena			% limo			% arcilla		
	0-2	2-5	5-10	0-2	2-5	5-10	0-2	2-5	5-10
Antes de la quema <sup>1</sup>	72,18	79,45	71,48	14,42	9,90	15,85	13,40	10,65	12,67
Después de la quema <sup>2</sup>	77,66	82,70	81,41	11,29	8,71	10,95	11,05	8,59	7,64
A los 7 días	75,62	80,60	78,54	8,45	6,52	5,88	15,93	12,88	15,58
A los 30 días	73,55	80,05	67,88	10,52	6,09	14,90	15,93	13,86	17,22
A los 90 días	69,53	74,70	67,22	16,92	12,65	14,62	13,55	12,65	18,16

<sup>1</sup> Unas horas antes de la quema controlada. <sup>2</sup> Inmediatamente después de la extinción del fuego.

**Tabla 3.** Valores de carbono y nitrógeno en la zona de estudio antes y después de la quema controlada a 0-2, 2-5 y 5-10 cm de profundidad

Profundidad (cm)	% carbono			% nitrógeno		
	0-2	2-5	5-10	0-2	2-5	5-10
Antes de la quema	10,03	11,60	10,04	0,08	0,07	0,20
Después de la quema	14,00	15,64	12,47	0,12	0,13	0,19
A los 7 días	13,59	10,83	10,68	0,15	0,22	0,18
A los 30 días	13,22	10,14	8,63	0,07	0,13	0,10
A los 90 días	10,15	8,62	7,93	0,04	0,06	0,08

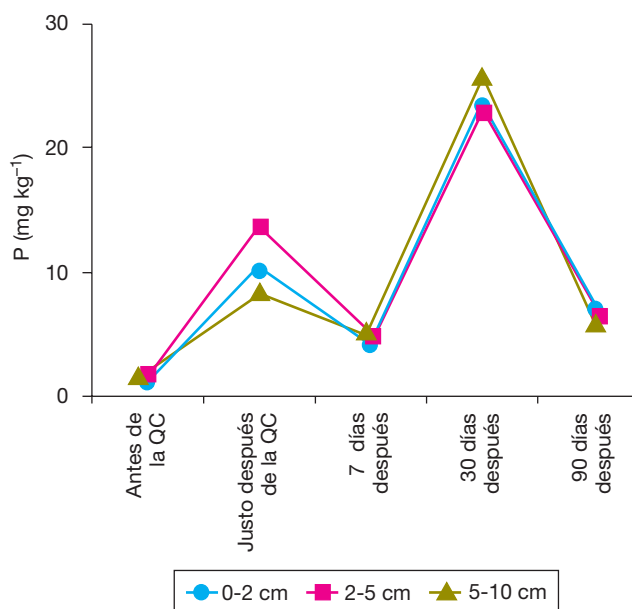
ciones halladas justo después del incendio, atribuyéndolas al consumo producido para la germinación de ciertas especies que aparecen en condiciones de post-incendio. Las pérdidas de C y N total que previsiblemente ocurrirían como consecuencia de la incineración de la materia orgánica del suelo, se verían compensadas por los aportes de material incinerado que se acumula sobre el suelo, dando un balance final positivo inmediatamente después de la quema (Díaz-Fierros *et al.*, 1982).

Con relación al fósforo asimilable y en todas las profundidades estudiadas (Fig. 3), se observa, justo después de la quema, un incremento extraordinario estadísticamente significativo ( $F = 116,457$ ;  $p < 0,001$ ) debido 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 (Romanýá *et al.*, 1994; Giovannini, 1997); este hecho se considera responsable, en una buena parte, de la fertilidad que aprovechan los cultivos implantados tras un tratamiento previo de quemado. La concentración del fósforo a los 7 y 30 días disminuye y aumenta respectivamente. A los 90 días los valores detectados fueron semejantes a los encontrados tras los 7 días de la quema, demostrando que el incremento inicial de la fertilidad es efímero, ya que al cabo de tres meses, una buena parte de la fertilidad desarrollada por el quemado había desaparecido. Lal (1974), en un estudio de mayor duración demuestra que la pérdida de fertilidad no solo restituía el suelo a sus niveles iniciales sino que incluso descendía significativamente de los mismos llevando los suelos a un nivel de pobreza nutritiva importante.

El potasio experimenta un aumento generalizado en su concentración a todas las profundidades hasta los 30 días después de la quema (Fig. 4), estadísticamente significativo ( $F = 5,472$ ;  $p < ,05$ ). Diversos autores obtuvieron resultados semejantes (Sánchez *et al.*, 1994; Giovannini, 1997; Blank y Zamudio, 1998; Úbeda, 2001), atribuyendo el aumento a la ceniza producida tras la combustión de la vegetación, aunque Dimitrakopoulos *et al.* (1994) señalan que si no hay suministro de potasio por parte de la vegetación, la concentración de potasio se verá reducida a corto plazo después del incendio.

Inmediatamente después del incendio y a los 7 días se observó a las profundidades estudiadas un leve aumento no significativo en el contenido de calcio y magnesio ( $p = 0,058$  y  $0,126$  respectivamente) y casi ninguna variación en el contenido de sodio justo después del incendio. A los 30 y 90 días la concentración de dichos elementos disminuye dando un balance final positivo en comparación con las concentraciones halladas antes del incendio. Giovannini (1997) señala

**Figura 3.** Evolución del fósforo asimilable en la parcela de estudio.

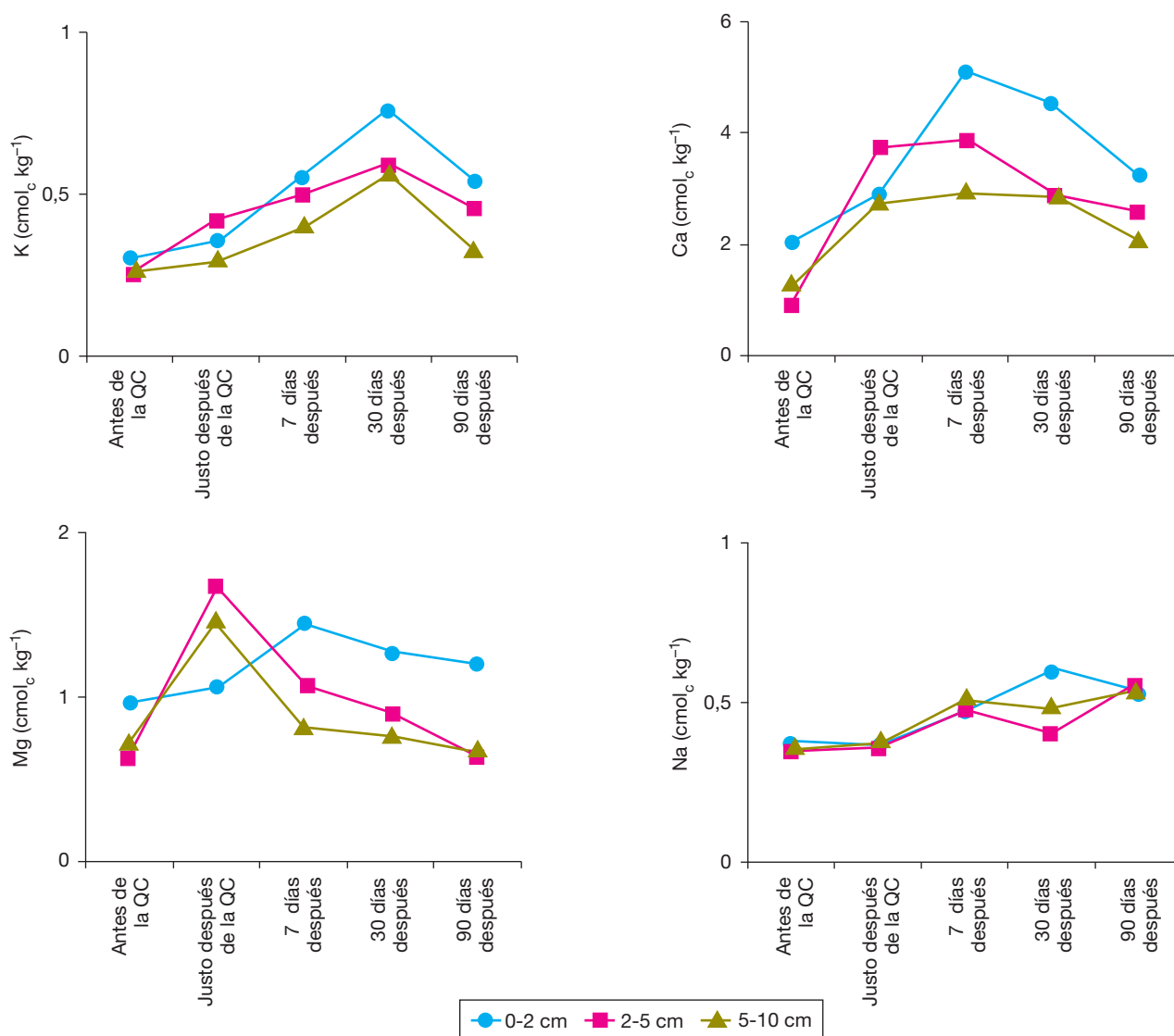


Figura 4. Evolución del contenido en K, Ca, Mg y Na solubles en la parcela de estudio.

un aumento en la concentración de calcio, magnesio y sodio en parcelas quemadas a baja intensidad (desde los  $170^\circ\text{C}$  hasta los  $500^\circ\text{C}$ ). Pero Blank y Zamudio (1998) señalan diferencias en el comportamiento de las concentraciones dependiendo de la vegetación que se incendie. La disminución observada en la concentración de los cationes a los 30 y 90 días después del incendio puede ser debida a un lavado favorecido por la precipitación caída en éste periodo y al hecho de que se trata de un suelo arenoso (Carreira y Niell, 1995; Marcos *et al.*, 1999).

Por último, cabe destacar que los cambios en las propiedades del suelo y la variación de los resultados analíticos no pueden ser solamente atribuidos al incendio

sino también al cambio de localización de las muestras de unas fechas a otras y a los cambios ambientales que se producen tras el mismo, ya que el incendio que afectó a la zona de estudio puede ser considerado de baja intensidad por la aparición de un alto porcentaje de restos parcialmente carbonizados (Marcos *et al.*, 1999; Úbeda, 2001; De Luis *et al.*, 2003).

## Conclusiones

Las alteraciones en el suelo, inmediatamente después de la quema controlada, a los 7, 30 y 90 días, se produjeron en todas las profundidades estudiadas de

0-2, 2-5 y 5-10 cm, reflejando la existencia de un incremento momentáneo de la fertilidad del suelo quemado, fundamentalmente en relación con el contenido en fósforo asimilable, lo que podría ser aprovechado para el rápido establecimiento de una cubierta vegetal debido a la brotación de la vegetación quemada.

## Referencias bibliográficas

- ANDREU V., RUBIO J.L., FORTEZA J., CERNI R., 1994. Long term effects of forest fires on soil erosion and nutrient losses. En: Soil erosion of forest fires. Geoderma, Logroño, España. pp. 79-90.
- ANDREU V., IMESON A.C., RUBIO J.L., 2001. Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wild-fire in a Mediterranean pine forest. *Catena* 44, 69-80.
- BEMETRIEUX R., LE BORGNE E., MONNIER G., 1996. Évolution de certains propriétés du sol sous l'influence du chauffage. *C R Acad Sci* 251, 2753-2755.
- BLANK R.R., ZAMUDIO D.C., 1998. The influence of wild-fire on aqueous-extractable soil solutes in forested and wet meadow ecosystems along the eastern front of the Sierra Nevada Range California. *Int J Wild Land Fire* 8(2), 79-85.
- BREMMER J.M., MULVANEY C.S., 1982. Nitrogen total. En: *Methods of Soil Analysis. Chemical and Microbiological Properties Vol 2*, American Society of Agronomy, Inc Madison, Wisconsin, EE UU. pp. 595-624.
- CALVO DE ANTA R.M., PAZ A., DÍAZ-FIERROS V.F., 1979. Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia. I. Interceptación de la precipitación. *Anales de Edafología y Agrobiología* 38, 1151-1163.
- CARREIRA J.A., NIELL F.X., 1995. Mobilization of nutrients by fire in a semiarid gorse-scrubland ecosystem of southern Spain. *Arid soil Research and Rehabilitation* 9, 73-89.
- CHANDLER C., CHENEY P., THOMAS P., TRABAUD L., WILLIAMS D., 1983. Fire in forestry. Forest fire behaviour and effects. New York, EE UU. 145 pp.
- CHRISTENSEN N.L., 1973. Fire and nitrogen cycle in California chaparral. *Science* 181, 66-68.
- DEBANO L.F., CONRAD C.E., 1978. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. *Ecology* 59(3), 489-497.
- DE LILLIS M., 1993. Use of water and nutrient by Mediterranean resprouters and reseeders in post-fire succession. En: *Fire in Mediterranean Ecosystems*, ECSC-EEC-EAEC, Brussels, Belgium. pp. 365-377.
- DE LUIS M., RAVENTÓS J., CORTINA J., GONZÁLEZ-HIDALGO J.C., SÁNCHEZ J.R., 2003. Fire and torrential rainfall: effects on the perennial grass *Brachypodium retusum*. *Plant Ecology* 51, 33-65.
- DÍAZ-FIERROS V.F., BENITO RUEDA E., PÉREZ MOREIRA R., 1990. Solute loss and soil erosion in burned soil from Galicia (NW Spain). En: *Fire and ecosystems Dynamics: Mediterranean and Northern Perspective*. SPB Academic Publishing. pp. 103-116.
- DÍAZ-FIERROS V.F., GIL SOTRES F., CABANEIRO A., CARBALLAS T., LEIROS DE LA PEÑA M.C., VILLAR VELORIO M.C., 1982. Efectos erosivos de los incendios forestales en suelos de Galicia. *Anales de Edafología y Agrobiología* 41(3/4), 627-638.
- DIMITRAKOPOULOS A.P., MARTIN R.E., PAPAMICHOS N.T., 1994. The effect of fire in available potassium. En: *Soil erosion as a consequence of forest fires*. Geoderma, Logroño, España. pp. 199-206.
- FERNÁNDEZ M.L., 1997. Evaluación en cámara de crecimiento de tres métodos de determinación de fósforo asimilable en suelos no calcáreos. *Edafología* 3, 189-203.
- GIOVANNINI G., 1994. The effect of fire on soil quality. En: *Soil erosion as a consequence of forest fires*, Geoderma, Logroño, España. pp. 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. pp. 217-248.
- GIOVANNINI G., LUCCHESI S., 1991. Is the vegetative cover the primary factor controlling erosion in burned soils? En: *Soil erosion as a consequence of forest fires*. Geoderma, Logroño, España. pp. 1-16.
- INBAR M., TAMIR M., WITTENBERG L., 1998. Runoff and erosion processes after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean area, *Geomorphology* 24, 17-33.
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 1977. Mapa Geológico de España 1:50.000. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria, Madrid, España.
- KETTERINGS Q.M., BIGHAM J.M., LAPERCHE V., 2000. Changes in soil mineralogy and texture caused by slash and burn fires in Sumatra, Indonesia. *Soil Sci Soc Am J* 64, 1108-1117.
- KUTIEL P., 1994. Fire and ecosystem heterogeneity: a Mediterranean case study. *Earth Surface Processes y Landforms* 19, 187-194.
- KUTIEL P., INBAR M., 1993. Fire impact on soil nutrients and soil erosion in a Mediterranean pine forest plantation. *Catena* 20, 129-139.
- LAL R., 1974. La erosión del suelo y la agricultura migratoria. En: *Agricultura migratoria y la conservación de suelos en África*, FAO Boletín de suelos n.º 24, Roma, Italia. pp. 23-29.
- LUCHÉIS S., ANSALDI M., GIOVANNINI G., 1994. Regeneration of Mediterranean maquis alter the passage of an experimental Fire. En: *Soil erosion as a consequence of forest fires*, Geoderma, Logroño, España. pp. 177-183.
- MARCOS E., 1997. Procesos edáficos en comunidades vegetales alteradas por el fuego. Tesis Doctoral. Univ de León.
- MARCOS E., TÁRREGA R., DE LUIS-CALABUIG E., 1999. Alteraciones producidas por un incendio forestal en el suelo de una repoblación de *Pinus radiata*. *Edafología* 6, 27-35.
- MARTÍNEZ E., 2001. Manual de quemadas controladas. El manejo del fuego en la prevención de incendios forestales. TRAGSA. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 175 pp.



- MEHLICH A., 1985. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Soil Sci and Plant Anal* 15, 1409-1416.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, 1996. Mapa Forestal de España 1:200.000. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid, España.
- MONTERROSO C., ÁLVAREZ E., FERNÁNDEZ MARCOS M.L., 1999. Evaluation of Mehlich 3 reagent as a multielement extractant in mine soils. *Land Degradation and Development* 10, 35-47.
- MORENO J.M., OECHEL W.C., 1991. FIRE intensity effects on germination of shrubs and herbs in southern California chaparral. *Ecology* 72, 1993-2004.
- PORRERO M.A., 2001. Incendios forestales. Investigación de causas. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 158 pp.
- PRIETO F., 1989. Incendios forestales. Ideas para una interpretación. En el libro rojo de los bosques españoles, ADENA/WWF, España. pp. 211-236.
- RAISON R.J., 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with a particular reference to nitrogen transformations: a review. *Plant and Soil* 51, 73-108.
- RIVAS-MARTÍNEZ S., BANDULLO J.M., ALLUÉ J.L., MONTERO J.L., GONZÁLEZ J.L., 1987. Memoria del mapa de series de vegetación de España. ICONA-MAPA: Serie Técnica. Madrid, España. 268 pp.
- ROMANYÁ J., KHANNA P.K., RAISON R.J., 1994. Effects of slash burning on soil phosphorous fraction and sorption and desorption of phosphorous. *Forest Ecology and Management* 65, 89-103.
- ROWE J.S., 1983. Concepts of fire effects on plant individuals and species. En: *The role of fire in northern circumpolar ecosystems*, John Wiley y Son, New York. pp. 127-172.
- RUBIO J.L., FORTEZA J., ANDREU V., CERNI R., 1997. Soil profile characteristics influencing runoff and soil erosion after forest fire: A case study (Valencia, Spain). *Soil Technology* 11, 67-78.
- SÁNCHEZ J.R., MANGAS V.L., ORTIZ C., BELLOT J., 1994. Forest fire effect on soil chemical properties and runoff. En: *Soil erosion as a consequence of forest fires*, Geoderma, Logroño, España. pp. 53-65.
- SANROQUE P., RUBIO J.L., MANSANTE J., 1985. Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo, en la composición florística y en la erosión hídrica de zonas forestales de Valencia (España). *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol* 22(2), 131-147.
- SOTO B., BASANTA R., DÍAZ-FIERROS F., 1997. Effects of burning on nutrient balance in an area of gorse (*Ulex europaeus L.*) scrub. *Science of the total environment* 204, 271-281.
- SOTO B., DÍAZ-FIERROS F., 1993. Interactions between plant ash leachates and soil. *International Journal of Wildland Fire* 3(4), 207-216.
- SPSS, 2004. SPSS para windows, version 12.0. SPSS Inc.
- ÚBEDA X., 2001. Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal. *Edafología* 8, 41-49.
- ULERY A.L., GRAHAM R.C., 1993. Forest fire effects on soil color and texture. *Soil Sci Soc Am J* 57, 135-140.
- VÉLEZ R., 1990. Algunas observaciones para una selva-cultura preventiva de incendios forestales. *Ecología n.º esp.*, 561-571.
- WADE D., 1989. A guide for prescribed fire in southern forests. Southern Region. Forest Service: Technical Publication R8-TP 11. USDA, EE UU. 56 pp.
- WILBUR R.B., CHRISTENSEN N.L., 1983. Effects of fire on nutrient availability in a north Carolina Coastal Plain Pocosin. *The American Midland Naturalist* 110, 54-61.