

EFFECTOS DE UN INCENDIO FORESTAL EN SUELOS DE LA PROVINCIA DE MADRID

M. T. IGLESIAS¹, V. CALA¹, I. WALTER² y J. GONZÁLEZ³

RESUMEN

El aporte de cenizas procedentes de la vegetación incinerada, principalmente *Quercus pyrenaica* y *Juniperus oxycedrus*, modifica determinadas propiedades físico-químicas del horizonte superficial de los suelos quemados, observándose a los dos meses del incendio un incremento de pH, conductividad eléctrica, C, Ca²⁺ y Na⁺ de cambio, capacidad de intercambio catiónica, grado de saturación y contenidos totales de Ca y Mn.

Se observa presencia de calcita, cuando la vegetación es de *Juniperus oxycedrus*, por la mayor temperatura alcanzada durante el incendio.

Palabras clave: Incendios forestales, Suelos, Propiedades físico-químicas.

INTRODUCCION

Los incendios forestales en nuestro país representan la principal causa de pérdida de grandes masas arboladas. Los suelos afectados sufren cambios en las propiedades fisicoquímicas, cuya naturaleza y magnitud depende de diversos factores entre los que cabría resaltar: la intensidad y duración del incendio (DEBANO y CONRAD, 1978), la naturaleza del estrato arbustivo y el tipo de suelo.

Uno de los factores de mayor influencia en las modificaciones del suelo por efecto del fuego, es el aporte de cenizas. Estas pueden estar constituidas por óxidos, sesquióxidos, carbonatos de metales alcalino y alcalinotérreos, sílice, metales pesados, fosfatos y pequeñas proporciones de N orgánico e inorgánico (RAISON, 1979, GIOVANNINI *et al.*, 1990).

El fuego ejerce su acción en los primeros centímetros del suelo, observándose un incremento temporal del pH, cationes de cambio, capacidad de

intercambio catiónico y grado de saturación (ELLIS y GRALEY, 1983; LOBO e IBÁÑEZ, 1984; GONZÁLEZ *et al.*, 1992; TOMKINS *et al.*, 1991; IGLESIAS *et al.*, 1994). La exposición del suelo a un incendio forestal de elevada intensidad, provoca una volatilización de los constituyentes orgánicos, teniendo lugar pérdidas variables de C y N; por el contrario, cuando es de baja intensidad, puede haber un incremento de estos dos elementos debido a una combustión incompleta, acumulándose cenizas negras (RAISON, 1979). También han sido descritas modificaciones mineralógicas en suelos quemados tales como alteración de filosilicatos y óxidos de hierro en incendio de gran intensidad (ULERY *et al.*, 1996) y formación de nuevos minerales como calcita o silvina (WATTEZ y COURTY, 1987), en función de la especie vegetal incinerada.

En base a estas consideraciones se estudian los efectos del fuego sobre determinadas propiedades físico-químicas del suelo bajo robles y enebros a los dos meses de un incendio forestal. Se comparan los resultados obtenidos con suelos de las mismas características no afectados por el incendio, que se consideran testigos.

MATERIALES Y METODOS

La zona de estudio está situada en el monte «La Carrascosa», localizado en las proximidades de

¹ Dpto. Química Agrícola, Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, U.A.M. Cantoblanco. 28049 Madrid.

² Area de Conservación del Medio Natural. CIT-INIA. Apdo. 8111. 28080 Madrid.

³ Dpto. Edafología. Facultad de Farmacia, U.C.M. 28040 Madrid.

Miraflores de la Sierra (Madrid). El material original está constituido por adamellitas porfídicas (INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA, 1990) y el clima es Mediterráneo templado. La vegetación corresponde al piso bioclimático supramediterráneo, asociación *Luzulo forsteri-Quercetum pyrenaicae sigmetum* (IZCO, 1984) y está constituida principalmente por *Juniperus oxycedrus* L. y *Quercus pyrenaica* Willd., *Cytisus scoparius* (L.) Link, *Daphne gnidium* L., y algún ejemplar aislado de *Pinus sylvestris* L.

El área estudiada comprende una superficie de 7 ha y sufrió un incendio forestal dos meses antes de la toma de muestras, afectando a la cubierta vegetal y sotobosque. Se han tomado muestras de 28 suelos en horizontes superficiales (0-5 cm) y subsuperficiales (5-15 cm), 22 de ellos están impactados por el fuego (Q) y el resto se consideran suelos testigo (T).

Presentan orientaciones variables (SW y NE) y por lo general pendientes acusadas (45%), con altitudes comprendidas entre 1120 y 1240 m. La distancia entre los suelos afectados por el incendio es de 20 m, siguiendo un transecto altitudinal. También se han tomado muestras de la vegetación más significativa de la zona de estudio.

En las muestras de suelo secadas al aire y pasadas por tamiz de 2 mm, se realizaron las siguientes determinaciones: pH en H₂O (1:2,5), conductividad eléctrica (1:5), análisis granulométrico (Método de BOYOUCOS, 1962), C orgánico oxidable (Método Walkley-Black), N total (Método Kjeldahl), cationes de cambio (mediante extracción con acetato amónico 1N pH=7), capacidad de intercambio catiónico (con empleo de acetato sódico). Los contenidos totales de elementos se obtienen por digestión ácida en suelos y material original con mezcla de HF-HNO₃-HClO₄ y en vegetación con HNO₃-HClO₄. La determinación de los contenidos en los extractos se realizó mediante espectroscopía de absorción atómica en un equipo Perkin Elmer 3103 y espectroscopía de plasma, Perkin-Elmer ICP 400. El tratamiento estadístico de los datos se realiza con el programa BMDP 4M (DIXON, 1983). Las fracciones granulométricas se estudian por Difractometría de Rayos X.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los suelos presentan una composición granulométrica semejante, con texturas arenosa, arenosa-

franca y franco-arenosa en consecuencia con la naturaleza del material original (adamellitas), no observándose variaciones apreciables entre los suelos testigo e impactados (Tabla I). No se manifiesta por tanto indicios de erosión a los dos meses del incendio.

El pH de estos suelos es ligeramente ácido, apreciándose un ligero incremento en el horizonte superficial de los suelos afectados por el incendio. Dicho aumento puede ser atribuido al aporte de bases de las cenizas procedentes de la incineración de la vegetación (SMITH, 1970, TOMKINS *et al.*, 1991, GONZÁLEZ *et al.*, 1992, IGLESIAS *et al.*, 1994). La conductividad eléctrica aumenta considerablemente tras el incendio, siendo este efecto más notable en superficie a consecuencia del incremento de componentes solubles procedentes de la combustión de las plantas (SMITH, 1970; KUTIEL INBAR, 1993). Así mismo se aprecia un ligero incremento de los valores medios de C fundamentalmente en la superficie de suelos impactados, probablemente debido al aporte de restos carbonizados (RAISON, 1979; SMITH, 1970, GONZÁLEZ *et al.*, 1992). Ver Tabla I.

Tanto en suelos testigos como quemados Ca²⁺ y Na⁺ son los cationes mayoritarios del complejo de cambio (Tabla II). Como consecuencia del incendio se aprecia un incremento importante de los contenidos de ambos cationes, fundamentalmente en el horizonte superficial de los suelos afectados, aumento debido al aporte de vegetación incinerada, a su retención por el complejo de cambio (ELLIS Y GRALEY, 1983; LOBO e IBÁÑEZ, 1984; KHANNA y RAISON, 1986; TOMKINS *et al.*, 1991; GONZÁLEZ *et al.*, 1992, IGLESIAS *et al.*, 1994) y a la ausencia de lluvias en el periodo anterior al muestreo. El valor medio de la capacidad de intercambio catiónico aumenta ligeramente en el horizonte superficial de suelos impactados (SMITH, 1970), lo que puede indicar que el incendio ha sido de ligera intensidad y no ha habido combustión total la materia orgánica. Se observa así mismo que son suelos medianamente saturados, existiendo un importante incremento del grado de saturación como consecuencia del incendio, fundamentalmente en el nivel más superficial.

En los suelos quemados se produce un incremento notable en los contenidos totales de Ca y Mn

TABLA I

VALORES MEDIOS Y DESVIACION STANDARD DEL ANALISIS GRANULOMETRICO (%), pH, C ORGANICO Y N, EN SUELOS TESTIGO (T) n = 6 Y QUEMADOS (Q) n = 22

	Horizonte superficial (0-5 cm)		Horizonte subsuperficial (5-15 cm)	
	T	Q	T	Q
% Arena	83,8±4,0	81,6±4,2	84,0±1,5	81,5±4,2
% Limo	10,8±3,2	12,7±4,6	9,2±3,1	11,4±4,5
% Arcilla	5,4±2,1	5,7±1,6	6,8±2,9	7,0±2,8
pH H ₂ O (1:2,5)	6,2±0,5	6,9±0,6	5,9±0,4	6,0±0,6
C. E. dSm ⁻¹ .10 ⁻³	51,3±23,1	146,3±64,4	38,1±21,0	58,6±30,1
% C	3,8±0,9	5,6±2,0	2,2±0,6	2,9±0,7
% N	0,3±0,1	0,5±0,1	0,2±0,1	0,3±0,1

TABLA II

VALORES MEDIOS Y DESVIACION STANDARD DEL COMPLEJO DE INTERCAMBIO CATIONICO, BASES DE CAMBIO Y GRADO DE SATURACION EN SUELOS TESTIGO (T) n = 6 Y QUEMADOS (Q) n = 22

	Horizonte superficial (0-5 cm)		Horizonte profundo (5-15 cm)	
	T	Q	T	Q
ClCcmolKg ⁻¹	28,6±9,7	31,7±9,0	24,2±6,9	23,9±7,5
Ca ²⁺ cmolKg ⁻¹	5,7±1,9	14,4±7,8	3,7±1,4	4,1±2,2
Mg ²⁺ cmolKg ⁻¹	1,0±0,4	2,0±1,5	0,7±0,3	0,7±0,6
K ⁺ cmolKg ⁻¹	0,8±0,2	1,1±0,7	0,6±0,2	0,7±0,5
Na ⁺ cmolKg ⁻¹	4,2±1,2	12,0±10,0	1,9±1,4	7,7±6,8
S/CIC*100	46,4±17,9	99,9±59,9	30,1±12,7	63,3±47,4

(Tabla III), debido en parte a la incineración de la vegetación.

La composición elemental de la vegetación natural (Tabla IV) pone de manifiesto que el Ca es el elemento mayoritario en las especies de porte arbóreo. Al efectuar el estudio por difracción de Rayos X en las distintas fracciones granulométricas, se pone de manifiesto la presencia de calcita en el horizonte superficial de los suelos impactados desarrollados bajo *Juniperus oxycedrus* (IGLESIAS *et al.*, 1996). La presencia de calcita en suelos quemados ha sido citada por ULERY *et al.* (1993) como componente importante en la ceniza de madera; WATTEZ y COURTY (1987) indican la formación de cristales de CaCO₃ por transformación de oxalato cálcico durante la combustión del tejido vegetal, preferentemente madera en distintas especies arbóreas. El mayor grado de incineración alcanzado por *Juniperus oxycedrus*,

respecto del *Quercus pyrenaica*, justificaría la aparición de calcita en las distintas fracciones de los suelos desarrollados bajo enebro.

Para evaluar el comportamiento de los suelos afectados frente a los testigos se ha realizado un estudio de correlaciones sobre parámetros edáficos y contenidos de elementos en ambas poblaciones de suelos. En las tablas Va y Vb se expresan los distintos coeficientes de correlación, corroborando el impacto del incendio sobre el suelo. Los suelos quemados presentan correlación muy significativa entre el grado de saturación y los contenidos en calcio, lo que confirmaría el aporte de bases procedentes de la vegetación incinerada. La conductividad, que muestra un notable incremento como consecuencia del incendio, se correlaciona al máximo nivel con el pH y contenidos en calcio y manganeso totales, corroborando lo expuesto anteriormente.

TABLA III

VALORES MEDIOS Y DESVIACION STANDARD DE CONTENIDOS TOTALES DE ELEMENTOS EN SUELOS TESTIGO (T) n = 6, QUEMADOS (Q) n = 22 Y MATERIAL ORIGINAL

Elemento	Horizonte superficial (0-5 cm)		Horizonte subsuperficial (5-15 cm)		Material original
	T	Q	T	Q	
%Al	7,4±0,6	7,0±1,0	7,9±0,7	7,9±0,9	6,1
%Fe	4,1±0,7	4,1±0,9	4,0±0,6	4,3±0,5	3,8
%Ca	0,03±0,02	0,21±0,30	0,03±0,01	0,07±0,04	0,13
%Mg	0,4±0,1	0,4±0,1	0,4±0,1	0,4±0,1	0,17
%K	2,9±0,7	2,6±0,6	2,2±0,6	2,6±0,5	2,50
%Na	3,2±1,2	2,8±1,2	2,4±1,1	3,1±1,3	2,71
MnmgKg ⁻¹	666,0±164,1	870,5±259,3	638,9±119,0	795,0±189,8	466,0

TABLA IV

CONTENIDOS TOTALES DE ELEMENTOS EN LA VEGETACION PREDOMINANTE DE LA ZONA DE ESTUDIO

Especies	mgKg ⁻¹					
	Fe	Ca	Mg	K	Na	Mn
<i>Q. pyrenaica</i>	544,0	14.937,5	1.906,6	2.745,6	323,6	368,5
<i>J. oxycedrus</i>	152,6	16.812,5	1.094,1	2.258,1	286,1	87,3
<i>Daphne gnidium</i>	411,1	3.350,0	1.656,6	5.395,6	392,4	49,8
<i>Cytisus scoparius</i>	69,9	2.162,5	1.031,6	3.370,6	579,9	39,3

TABLA Va

COEFICIENTES DE CORRELACION Y NIVEL DE SIGNIFICACION ENTRE LOS DISTINTOS PARAMETROS EDAFICOS DE LOS SUELOS TESTIGO

	N	Ca _{comb.}	Mg _{comb.}	K _{comb.}	CIC	S/CIC*100	C.E.	Arcilla
pH	0,858*	0,940**	0,924**	0,897*			0,961**	
C		0,885*	0,941**		0,830*			
N		0,833*	0,848*				0,874*	
C.E.	0,874*	0,940**	0,896*					
Ca _{comb.}	0,833*		0,971*					
Ca _T				0,835*				
Fe _T								0,941**
arena						-0,835*		
limo						0,835*		-0,861*

***P(0,001), **P(0,01) y *P(0,05).

La correlación altamente significativa entre C y N en suelos quemados, puede confirmar que el incendio ha sido de escasa intensidad; estos elementos se correlacionan significativamente con la capacidad de intercambio catiónico, lo cual indica, dados los bajos contenidos de fracción arcilla en estos suelos, que la capacidad de intercambio catiónico es debida principalmente a la

materia orgánica. Los cationes de cambio presentan distinto grado de correlación entre sí, resaltando la relación entre Na y grado de saturación, como consecuencia de la alteración del material original de estos suelos.

La naturaleza ilítica de la arcilla (datos sin publicar), con fijación de potasio, se corrobora por el

TABLA Vb
COEFICIENTES DE CORRELACION Y NIVEL DE SIGNIFICACION ENTRE LOS DISTINTOS PARAMETROS
EDAFICOS DE LOS SUELOS QUEMADOS

	N	C.E.	Ca _{camb.}	Mg _{camb.}	K _{camb.}	Na _{camb.}	CIC	S/CIC*100	Ca _T	Mn _T
pH		0,715***	0,705***	0,426*		0,525*		0,667***	0,560**	
C.E.			0,769***	0,527*		0,452*		0,526*	0,687***	0,685***
C	0,650***			0,553***	0,552***		0,568**			
N							0,695***			0,430*
Ca _{camb.}				0,659***		0,501*		0,619***	0,922***	0,824***
Mg _{camb.}					0,840***	0,465*			0,499*	0,508*
Na _{camb.}								0,919***	0,435*	
S/CIC*100										0,471*
arena	-0,865***					0,463*	-0,643**	0,441*	0,543***	
arcilla					-0,462*					

***P(0,001), **P(0,01) y *P(0,05).

coeficiente negativo de correlación entre la arcilla y el K⁺ de cambio.

La relación existente entre los contenidos totales de Mn y N, puesta de manifiesto por IGLESIAS *et al.*, 1995, ha sido atribuida por GRAHAM *et al.*, 1988 a la afinidad de los grupos funcionales nitrogenados hacia la formación de complejos estables con Mn en suelos.

CONCLUSIONES

A los dos meses de un incendio forestal y como consecuencia del aporte de cenizas, se observa en los suelos afectados una serie de modificaciones que se hacen más patentes en horizontes superficiales (0-5 cm):

— un aumento en los valores de pH, conductividad eléctrica, contenidos en Ca²⁺ y Na⁺ cambiables, grado de saturación y contenidos totales de Ca y Mn

— ligero incremento de los contenidos de C y de la capacidad de intercambio catiónico

— formación de calcita en suelos bajo enebro, debido al mayor grado de incineración de esta especie durante este incendio.

Se estima que la intensidad del fuego no ha sido suficientemente elevada como para destruir la materia orgánica, existiendo correlación significativa entre C y N. En la capacidad de intercambio catiónico interviene fundamentalmente la materia orgánica, como se deduce de los altos coeficientes de correlación entre esta propiedad y C y N, no existiendo correlación con la arcilla, debido a la pequeña proporción de fracción fina en estos suelos.

Los efectos de incendios de baja intensidad sobre los suelos estudiados, a corto plazo, sin período de lluvias, son beneficiosos de forma inmediata. No obstante la escasez de fracción fina en estos suelos y la naturaleza ilítica de la fracción arcilla, condicionan que los incendios de gran intensidad puedan provocar un empobrecimiento y erosión de los suelos de la zona, por combustión completa de la materia orgánica, ya que ésta interviene como componente fundamental en la capacidad de intercambio catiónico.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha podido realizar gracias a una beca del INIA concedida al primer autor.

SUMMARY

The effect of the ash vegetation burning, *Quercus pyrenaica* and *Juniperus oxycedrus*, on the physico-chemical soil properties were studied, two months after fire. In the surface soil layers (0-5 cm) an increase of pH, electric conductivity, C, exchangeables Ca^{2+} and Na^+ , cationic exchange capacity, base saturation and total contents of Ca and Mn, were observed.

Only the soils under *Juniperus oxycedrus* showed calcite, because of the greater temperature reached.

Key words: Forest fire, Soils, Physico-chemical properties.

BIBLIOGRAFIA

- BOYOUCOS G. J. 1962: «Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils». *Agron. J.* 54: 464-465.
- DEBANO L. F. & CONRAD C. E. 1978: «The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem». *Ecology*, 59: 489-497.
- DIXON W. J. (Ed.) 1983: *BMDP Statistical Software*. University of California Press, Berkeley, 734 pp.
- ELLIS R. C. & GRALEY A. M. 1983: «Gains and losses in soil nutrients associated with harvesting and burning eucalypt rainforest». *Plant and Soil* 74: 437-450.
- GIOVANNINI G., LUCCHESI S. & GIACETTI M. 1990: «Effects of heating on some chemical parameters refers to soil fertility and plant growth». *Soil Sci.* 344-350.
- GONZÁLEZ J., FERNÁNDEZ M. C. y GIMENO P. 1992: «Efectos de los incendios forestales sobre el suelo». *Suelo y Planta*: 71-79.
- GRAHAM R. D., HANNAM R. J. & UREN N. C. 1988: *Manganese in soils and plants*. Kluwer Academic Publishers, 344 pp.
- IGLESIAS M. T., FERNÁNDEZ M. C., PALOMAR M. L. y GONZÁLEZ J. 1994: «Efectos de un incendio forestal en una masa de *Pinus pinaster* sobre los cationes de cambio y el estado del hierro en el suelo». *Ecología* 8: 63-69.
- IGLESIAS M. T., CALA V., FERNÁNDEZ M. C. y GONZÁLEZ J. 1995: «Variación de los contenidos de macro y microelementos en suelos afectados por un incendio forestal». En: *Degradación y Conservación de suelos*. Dpto. Edafología, Facultad de Farmacia. UCM, pp. 169-176.
- IGLESIAS M. T., CALA V. & GONZÁLEZ, J. 1996: «Mineralogical and chemical modifications in soils affected by a forest fire in the Mediterranean Area». *Forest Ecol. Manag.* (En prensa).
- INSTITUTO TECNOLÓGICO Y GEOMINERO DE ESPAÑA. 1990: *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja 509 Torrelaguna*, Madrid.
- IZCO J. 1984: *Madrid verde*. Mº Agricultura, Pesca y Alimentación y Comunidad de Madrid, 517 pp.
- KUTIEL P. & INBAR M. 1993: «Fire impacts on soil nutrients and soil erosion in a Mediterranean pine forest plantation». *Catena* 20:129-139.
- LOBO M. C. e IBÁÑEZ J. J. 1984: «Aportaciones al estudio de la estructura del sistema trófico en suelos afectados por incendios forestales. Aplicación del sistema de electroultrafiltración». *An. Edaf. y Agrob.* 11-12: 1527-1544.
- RAISON R. J. 1979: «Modification of the soil environment by vegetation fires with particular reference to nitrogen transformations: a review». *Plant and Soil*, 51: 73-108.
- SMITH D. W. 1970: «Concentrations of soil nutrients before and after fire». *Can. J. Soil Sci.* 50: 17-29.
- TOMKINS I. B., KELLAS J. D., TOLHURST K. G. & OSWIN D. A. 1991: «Effects of fire intensity on soil chemistry in a eucalypt forest». *Aust. J. Res.* 29: 25-47.
- ULERY A. L., GRAHAM R. C. & AMRHEIN C. 1993: «Wood-ash composition and soil pH following intense burning». *Soil Sci.*, 156(5): 358-364.
- ULERY A. L., GRAHAM R. C. & BOWEN L. H. 1996: «Forest fire effects on soil phyllosilicates in California». *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60: 309-315.

- WALKEY A. & BLACK I. 1974: «A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soils». *Soil Sci.* 63: 251-254.
- WATTEZ J. & COURTY M. A. 1987: «Morphology of ash of some plant materials. Soil Micromorphology». *Proceed. of VIIth International Working Meeting on Soil Micromorphology*. París. Edit. N. FEDOROFF, L.M. BRESSON y M.A. COURTY.