

MODIFICACIONES EN ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO A CAUSA DEL FUEGO

T. IGLESIAS LÓPEZ, C. FERNÁNDEZ BERMEJO,
& J. GONZÁLEZ PARRA

Dpto. de Edafología. Fac. de Farmacia. U.C.M. 28040 Madrid.

Resumen. Se efectúa un estudio comparativo de las características morfológicas, químicas y físico-químicas de suelos (*Cambisoles húmicos* y *C. dístricos*) a los diez meses de un incendio forestal, respecto a suelos testigos.

En suelos postincendio se observa un incremento en el horizonte superficial de pH, CIC, Ca^{2+} y K^+ cambiabiles debido al aporte de cenizas de la vegetación incinerada, mayoritariamente *Pinus pinaster Ait.* Existe una correlación significativa entre C y N, lo que indicaría que el incendio ha sido de moderada intensidad; también se aprecia en estos suelos un aumento de la relación Fe_D a Fe_T fundamentalmente en superficie por liberación de hierro.

Palabras clave: Incendios, suelos, propiedades.

Abstract. We have studied in this paper the morphological, chemical and physico-chemical characteristics of some soils (*Cambisoles húmicos* y *C. dístricos*) after ten months of a forest fire and also in unburned soils.

We observed that in the superficial layers of the soil pH, CEC, exchangeable Ca^{2+} and K^+ , increases because of the ashes of the burnt plants (*Pinus pinaster Ait.*). We deduced that fire was of moderate intensity because of the significant correlation between C and N; it is also observed in this kind of soils and increase in the relation Fe_D to Fe_T due to the liberation of iron fundamentally in the surface of the soil layer.

Key words: Fires, soils, properties.

1. Introducción

Una de las agresiones más importantes y antiguas que sufre la biosfera es debida a los incendios forestales, que vienen siendo desgraciadamente muy importantes en las últimas décadas, con modificación de las propiedades físicas, físico-químicas y biológicas a consecuencia del aporte de carbón y cenizas procedentes de la cobertura vegetal. La intensidad y duración de la fuente de calor es importante, ya que ejerce su influencia en determinados factores edáficos, fundamentalmente en el nivel más superficial. En función de la composición química de las cenizas va a tener lugar un incremento temporal del pH, por la formación de óxidos de varios elementos (Nishita & Haug, 1972) y a la liberación de cationes básicos de la mate-

ria orgánica durante y después del incendio (Kutiel & Kutiel, 1989). Cuando el incendio es de moderada intensidad, no se modifica la textura de los suelos (Nishita & Haug, 1972). Respecto a la materia orgánica, Wells (1971) indica que el principal efecto del incendio es a menudo una redistribución y no una reducción de la materia orgánica en el perfil.

El efecto del incendio también se manifiesta en una transformación de los óxidos de hierro (Mullins et al, 1994) y en una mayor liberación de hierro (Iglesias et al, 1994).

Se analizan en este trabajo las características morfológicas, químicas y fisico-químicas de suelos a los diez meses de un incendio forestal, comparándolas con las de suelos testigo, con el fin de poner de manifiesto las repercusiones que el incendio ha tenido sobre el ecosistema edáfico.

2. Material y Métodos

El estudio se ha llevado a cabo en la Sierra de Gredos, en la zona de Lancharón (Arenas de San Pedro, Avila). Se tomaron muestras de dieciocho perfiles *Cambisoles húmicos* y *C. dístricos* (FAO, 1977), localizados en un pinar de repoblación de *Pinus pinaster Ait.*, desarrollados a partir de esquistos y cuarcitas, presentando igual pendiente y en clima Mediterráneo templado. Trece perfiles (Q) sufrieron los efectos de un incendio forestal, de diez horas de duración y que acaeció diez meses antes de la toma de muestras, llevándose a cabo ésta después de la tala y arrastre de pinos. La elección de perfiles se realizó distribuyéndolos en cinco series, en cada una de ellas están situados con la misma orientación, altitud y con una distancia por lo general fija entre ellos (200 m) y una pendiente de 25-30 %. En cada serie de suelos impactados se tomó un suelo testigo (T). El muestreo se efectuó en horizontes edáficos y en superficiales (0-5) y subsuperficiales hasta 40 cm, con intensidad del impacto variable.

En las muestras de suelo secadas al aire y pasadas por tamiz de 2 mm, se realizaron las siguientes determinaciones analíticas: pH en agua (1:2,5); análisis granulométrico (Método Internacional), estructura y consistencia (FAO, 1997), materia orgánica (Método Walkley-Black), nitrógeno (Método Kjeldahl); capacidad de intercambio catiónico y cationes de cambio (Acetato amónico a pH=7), Ca^{2+} y Mg^{2+} se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, con equipo Perkin Elmer 300; Na^+ y K^+ por fotometría de llama, con equipo Elvi 600. Los óxidos de hierro se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, previa extracción con ácido oxálico+oxalato amónico+hidrosulfito sódico, para óxidos de hierro libre (Fe_D) y digestión ácida con $HF-HClO_4-HNO_3$ para el hierro total (Fe_T).

El estudio estadístico se realizó con el programa R-sigma y BMDP4M de análisis factorial multivariante.

3. Resultados y Discusión

A los diez meses del incendio forestal no se observan grandes modificaciones en las características morfológicas de suelos afectados respecto a testigos con una disminución del brillo en superficie en suelos postincendio debido a la acumulación de carbón, variando de 10YR 4/2 y 10YR5/3 en testigos a 10YR3/2 y 10YR2/2 en impactados. La estructura varía de forma irregular, siendo por lo general granular en ambos grupos de suelos, no presentando estructura los más afectados por el fuego. La consistencia también se modifica irregularmente, no encontrando diferencias significativas entre suelos testigo y quemados.

La composición granulométrica es semejante en todos los suelos, con un ligero incremento de las fracciones finas en suelos impactados (Tabla 1, Figura 1) fundamentalmente en superficie, coincidiendo con la mayor acumulación de carbón y cenizas, no obteniendo diferencias estadísticamente significativas entre testigos e impactados, lo que podría indicar que no ha existido erosión significativa, dada la ausencia de lluvias torrenciales desde el incendio forestal a la toma de muestras (Iglesias, 1993). La textura en ambas poblaciones de suelos es arenosa-franca o franco-arenosa, dada la naturaleza y homogeneidad del material original (esquistos y cuarcitas), corroborado por la igualdad en los contenidos de macroelementos (Iglesias et al, 1995).

Tabla 1. Valores medios, desviación standard, mínimos y máximos de parámetros edáficos, en horizontes superficial y subsuperficial de suelos testigo (T) y quemados (LA).

	Horizonte superficial		Horizonte subsuperficial	
	T (n=5)	LA (n=13)	T (n=5)	LA (n=13)
%AG	34.0±9.4(24.1-44.9)	29.6±7.1(20.2-45.8)	31.1±5.4(25.9-39.1)	32.3±5.0(22.6-43.3)
%AF	48.6±4.4(41.5-52.7)	45.4±6.0(36.5-55.6)	49.4±4.2(46.3-56.1)	45.2±5.4(36.36-53.6)
%limo	10.6±5.7(4.5-18.1)	15.4±4.6(6.5-20.8)	9.8±3.2(5.2-13.6)	13.7±3.4(7.7-19.0)
%arcilla	6.8±1.4(5.3-8.9)	9.5±2.8(5.1-14.0)	9.8±2.7(6.5-13.6)	9.5±2.3(5.3-12.9)
pH	5.1±0.2(4.7-5.3)	6.5±0.7(5.1-7.4)	5.5±0.2(5.2-5.8)	6.0±0.4(5.5-6.4)
%C	7.1±4.9(4.0-13.4)	7.0±2.5(4.0-11.1)	2.0±1.0(1.1-3.5)	2.5±1.0(1.0-4.3)
%N	0.3±0.1(0.2-0.4)	0.3±0.1(0.1-0.4)	0.1±0.0(0.1-0.1)	0.1±0.1(0.1-0.2)
CIC _{cmolckg⁻¹}	20.2±10.3(11.2-37.3)	25.1±5.0(15.1-33.8)	9.6±2.4(7.0-13.1)	14.4±3.8(11.0-24.3)
V	47.7±12.8(34.4-64.0)	62.3±8.0(50.8-77.9)	54.7±12.7(35.9-70.0)	61.0±18.7(28.3-89.5)
Ca ²⁺ _{cmolkg⁻¹}	6.2±2.5(3.3-9.9)	12.8±4.0(7-22.2)	3.5±2.3(1.6-7.4)	6.8±2.4(1.6-10)
Mg ²⁺ _{cmolkg⁻¹}	1.6±1.0(0.7-3.2)	1.9±0.9(0.4-3.5)	0.7±0.4(0.2-1.1)	0.8±0.7(0.0-2.5)
K ⁺ _{cmolkg⁻¹}	0.5±0.2(0.2-0.8)	1.0±0.3(0.6-1.3)	0.5±0.6(0.2-1.5)	0.7±0.2(0.1-0.9)
%Fe ₂ O _{3D}	1.5±0.5(0.8-2.1)	2.1±0.6(0.9-2.9)	1.9±0.4(1.3-2.4)	2.3±0.6(1.0-3.1)
%Fe ₂ O _{3T}	3.5±1.1(2.1-5.1)	4.1±1.0(2.0-5.7)	4.9±0.9(3.7-6.0)	5.3±1.9(2.6-10.6)
Fe _D 100/Fe _T	43.0±10.6(29.9-57.5)	57.4±6.7(46.7-68.5)	38.8±9.1(28.6-47.9)	43.4±5.3(35.3-52.6)

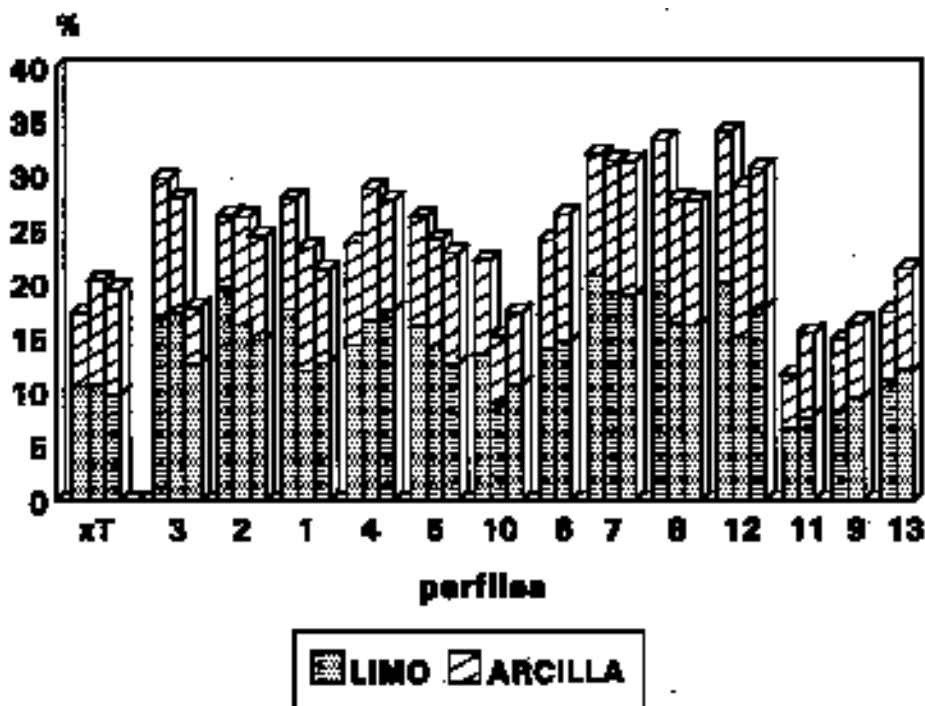


Figura 1. Porcentajes de limo y arcilla en los distintos horizontes de suelos testigo (valor medio) y quemados (ordenados según su distancia al suelo testigo).

Los suelos testigo son ligeramente ácidos, observándose un aumento de los valores medios del pH en agua como consecuencia del incendio (Tabla 1), sobre todo en superficie, con resultados estadísticamente significativos ($p < 0,001$). Ello es debido al aporte de bases por incineración de la vegetación y al poco tiempo transcurrido desde el incendio a la toma de muestras (Smith, 1970; Raison, 1979; Ellis & Graley, 1983; Khanna y Raison, 1986; Tomkins *et al.* 1991; Fritze *et al.*, 1994; Iglesias *et al.*, 1994). Al profundizar las diferencias se atenuan. Respecto a los contenidos medios de C y N, no se aprecian diferencias estadística-

mente significativas entre testigos e impactados en el nivel superficial (Tabla 1, Figuras 2 y 3), lo que podría indicar que el incendio ha sido de baja intensidad y que ha tenido lugar una combustión incompleta de la materia orgánica (Raison, 1979; Guillon & Rapp, 1989; Tomkins *et al*, 1991; Ulery *et al*, 1995).

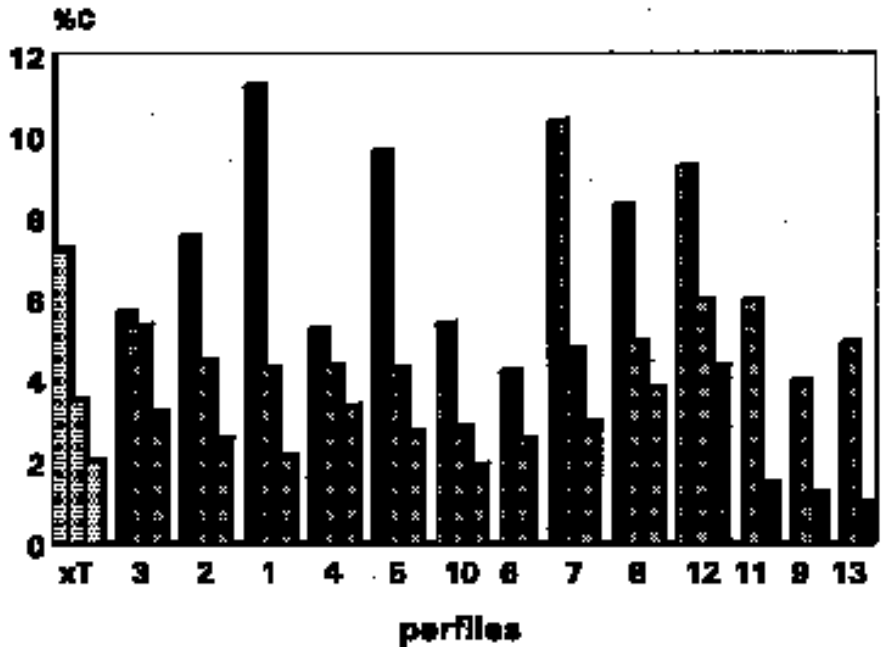


Figura 2. Porcentajes de carbono en los horizontes de suelos testigo (valor medio) y quemados (ordenados según su distancia al suelo testigo).

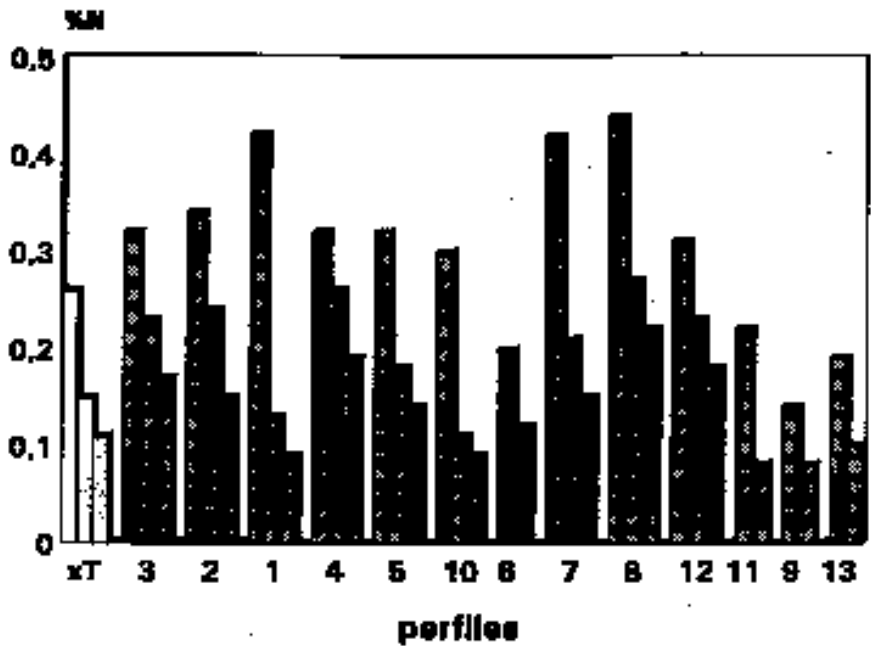


Figura 3. Porcentaje de nitrógeno en los distintos horizontes de suelos testigo (valor medio) y quemados (ordenados según su distancia al suelo testigo).

El valor medio de la capacidad de intercambio catiónica (Tabla 1) también aumenta en superficie como consecuencia del impacto (Tomkins *et al*, 1991), lo que puede deberse a que no ha habido destrucción total de la materia orgánica. Son suelos ligeramente desaturados, existiendo un incremento del valor medio del grado de saturación en suelos postincendio por la escasa lixiviación de los cationes aportados por los restos vegetales (Fritze *et al*, 1994). Los cationes cambiabiles experimentan un notable aumento en el horizonte superficial (Tabla 1), fundamentalmente el Ca^{2+} , que es el catión predominante en el complejo de cambio, incrementando su valor medio en superficie $6.6 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$ a los diez meses del impacto, siendo estas diferencias estadísticamente significativa ($p < 0,01$). El K^+ aumenta su valor medio $0.5 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$ para el mismo nivel superficial, siendo el resultado estadísticamente significativo ($p < 0,01$); en profundidad las diferencias son menores. El incremento de estos cationes en perfiles afectados por el fuego podría indicar la riqueza en dichos elementos de la vegetación incinerada (Stark, 1977; Khanna & Raison, 1986; Watzte & Courty, 1987; Tomkins *et al*, 1991; Iglesias *et al*, 1994).

En cuanto a los óxidos de hierro libres (Fe_D), así como los contenidos totales (Fe_T), se aprecia un ligero incremento en suelos impactados (Tabla 1), aunque las diferencias no son estadísticamente significativas. La relación Fe_D a Fe_T aumenta tras el incendio, fundamentalmente en el horizonte superficial, con resultados estadísticamente significativos ($p < 0,01$), al profundizar las diferencias son menores. Considerando esta relación como un índice de alteración, los resultados anteriores podrían deberse en parte a una posible liberación de hierro como consecuencia del impacto, más acusada en superficie (Iglesias, 1993; Iglesias *et al*, 1994).

Se ha efectuado un estudio de correlaciones entre parámetros edáficos de suelos testigo y en quemados en el horizonte superficial (Tablas 2a y 2b), observando en suelos quemados una correlación significativa del grado de saturación con Ca^{2+} , lo que corroboraría el aporte de bases al quemarse la vegetación; la correlación significativa entre C y N, puede confirmar que el incendio no ha sido muy intenso y que no ha habido destrucción total de la materia orgánica. La CIC esta correlacionada al máximo nivel con Ca^{2+} , por ser el catión mayoritario en el complejo de cambio; la correlación con C y N, indicaría la contribución de estos componentes a la capacidad de cambio.

Tabla 2a. Coeficientes de correlación en el horizonte superficial de suelos testigo.

	C	N	Ca^{2+}	K^+	CIC
pH	0.852***		0.961***		0.866***
N	0.990***				
K^+	0.916***	0.916***			0.932***
CIC	0.991***	0.984***			
V				0.832*	
Arena G.	-0.827*	-0.893*			-0.816*
limo				0.832*	

*** ($p < 0.001$)** ($p < 0.01$)* ($p < 0.05$)

Tabla 2b: Coeficientes de correlación en el horizonte superficial de suelos quemados.

	pH	C	N	Mg^{2+}	K^+	CIC	V	Arcilla	Fe_{DO}
C	0.576*					0.557*			
N	0.790**	0.793**				0.600*	0.560*	0.612*	
Ca^{2+}			0.557*			0.867***	0.711**		
Mg^{2+}	0.752**	0.769**	0.870***		0.568*	0.683*		0.554*	
Arena G.					-0.559*		-0.636*		
limo	0.597*	0.697**	0.831***	0.623*			0.612*	0.769**	0.666*
Fe_T									0.644*

*** ($p < 0.001$)** ($p < 0.01$)* ($p < 0.05$)

Para concluir se lleva a cabo un análisis factorial multivariante, obteniendo 4 factores que representan un 83,1% de la varianza total. El factor 1, explica el máximo porcentaje de la varianza (36,6%) y viene representado en parte por variables de naturaleza orgánica (C, N, CIC, Mg^{2+} y limo); el factor 2 (grado de saturación, Ca^{2+} , pH y K^+) explica el 26,7% de la varianza y el factor 3 explica el 24,3 de la varianza, podría ser interpretado como un factor de alteración mineral y liberación de hierro, está constituido por: Fe_D , Fe_T y arcilla.

La representación espacial del factor 2 frente al factor 3 (Figura 4) nos separa los dos grupos de suelos (testigos e impactados), estos últimos con mayor saturación, pH y contenidos en Ca^{2+} y K^+ .

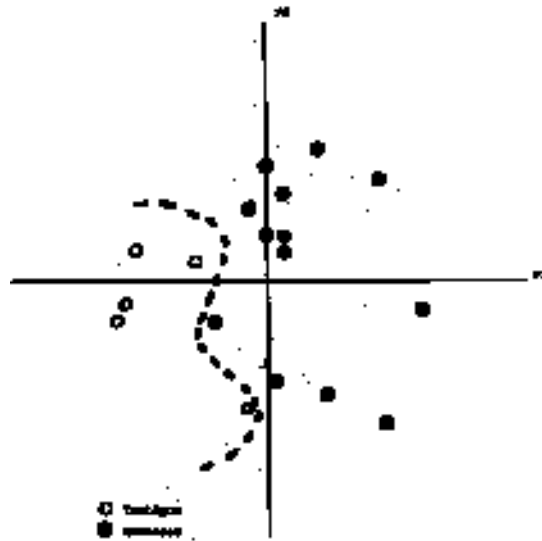


Figura 4

4. Conclusiones

A los diez meses de un incendio forestal tiene lugar un ligero incremento en superficie de la CIC, lo que indicaría que el incendio ha sido de moderada intensidad, y que no ha habido destrucción total de la materia orgánica. Ello se corrobora por la correlación significativa entre C y N en suelos postincendio.

Asímismo se observa un notable aumento del pH, Ca^{2+} y K^+ cambiabiles por el aporte de bases procedentes de la vegetación incinerada, mayoritariamente *Pinus pinaster Ait.*, siendo el calcio el catión fundamental del complejo de cambio, como se deduce del elevado coeficiente de correlación que presenta con la CIC.

En suelos postincendio se eleva la relación Fe_D a Fe_T , de lo que se deduce mayor liberación de hierro sobre todo en superficie.

Referencias bibliográficas

- Ellis, R.C. & Graley, A.M. (1983): Gain and losses in soil nutrients associated with harvesting and burning eucalypt forest. *Plant and Soil* 74, 437-450.
- FAO (1977): Guía para la descripción de perfiles de suelos. 2ª Ed.
- Fernández, M.C., Iglesias, M.T. & Gonzalez, J. (1991): Evaluación del impacto edáfico en un incendio forestal. *XVIII Reunión Nacional de Suelos*. Tenerife, 387-394.

- Fritze, H., Smolander, A., Levula, T., Kitunen, V. & Malkönen, E.** (1994): Wood-ash fertilization and fire treatments in a Scots pine forest stand. Effects on the organic layer, microbial biomass, and microbial activity. *Biol. Fertil. Soils* 17, 57-63.
- Goh, K. & Phillips, M.J.** (1993): Effects of clearfell logging and burnig of a Nothofagus forest on soil nutrients dynamics in South Island, New Zeland- changes in forest floor organic mater and nutrients status. *Journal of Botany* 29, 367-384.
- Guillon, A. & Rapp, M.** (1989): Nutrient losses during a winter low-intensity prescribed fire in a Mediterranean forest. *Plant and Soil* 120, 69-77.
- Iglesias, M.T.** (1993): *Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del suelos en un pinar de repoblación (Pinus pinaster) en Arenas de San Pedro (Avila)*. Tesis Doctoral. Dpto. Edafología. Fac. Farmacia. Universidad Complutense de Madrid, 289 pp.
- Iglesias, M.T., Fernández, M.C., Palomar, M.L. & González, J.** (1994): Efectos de un incendio forestal en una masa de *Pinus pinaster* sobre los cationes de cambio y el estado del hierro del suelo. *Ecología* 8, 63-69.
- Iglesias, M.T., Cala, V., Fernández, M.C., & Parra, J.** (1995): Variación en los contenidos de macro y microelementos en suelos afectados por un incendio forestal. XX Reunión Nacional de Suelos, Madrid-Arenas de San Pedro. En: *Degradación y conservación de suelos*. Dpto. Edafología Facultad de Farmacia UCM (Ed), 169-176.
- Khanna, P.K. & Raison, R.J.** (1986): Effect of fire intensity on solution chemistry of surface soil under a *Eucalyptus pauciflora* forest. *Aust. J. Soil Res.* 24, 423-434.
- Kutiel, P. & Kutiel, H.** (1989): Effects of a wildfire on soil nutrients and vegetation in a Aleppo pine forest, on Mount Carmel, Israel. *Pirineos* 134: 59-74.
- Kutiel, P. & Inbar, M.** (1993): Fire impacts on soil nutrients and soil erosion in a mediterranean pine forest plantation. *Catena* 20, 129-139.
- Mullins, C.E.** (1977): Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science.- A review. *J. Soil Sci.* 28: 223-246.
- Nishita, H. & Haug, R.M.** (1972): Some physical and chemical characteristics of heated soils. *Plant and Soil* 113(6): 422-430.
- Raison, R.J.** (1979): Modification of the soil environment by vegetation fires. With particular reference to nitrogen transformations: A review. *Plant and Soil* 21, 73-108.
- Roder, W., Calvert, O. & Dorji, Y.** (1993): Effect of burnig on selectes soils parameters in a grass fallow shifting cultivation system in Bhutan. *Plant and Soil* 149, 51-58.
- Smith, D.W.** (1970). Concentration of soil nutrients before and after fire. *Can. J. Soil Sci.* 50, 17-29.
- Stark, N.M.** (1977): Fire and nutrient cycling in a Douglas-fir/larch forest. *Ecology* 58, 16-30.
- Tomkins, I.B., Kellas, J.D., Tolhurst, K.G. & Oswin, D.A.** (1991): Effects of fire intensity on soil chemistry in a Eucalipt forest. *Aust. J. Soil Res.* 29, 25-47.
- Ulery, A.L., Graham, R.C., Chadwick, O.A. & Wood, H.B.** (1995): Decade-scale changes of soil carbon, nitrogen and exchangeable cations under chaparral and pine. *Geoderma* 65, 121-134.
- Wattez, J. & Courty, M.A.** (1987): *Morphology of ash of some plant materials*. *Soil Micromorphology*. Fedoroff, N., Bresson, L.M. y Courty, M.A. (Eds). AFES, Plaisir. France.
- Wells, C.G.** (1971): Effects of prescribed burning on soil chemical properties and nutrient availability, pp. 86-99. En *Prescribed burning symposium, Proceedings of the Southeastern Forest Experimental Station, Charleston, South Carolina, USA*, April 14-17.