

EFFECTOS DE LA TEMPERATURA Y VEGETACION EN SUELOS CALENTADOS EN CONDICIONES CONTROLADAS DE LABORATORIO

M.T. IGLESIAS¹, V. CALA², I. WALTER¹ Y J. GONZÁLEZ³

RESUMEN

El objeto de este estudio ha sido determinar los cambios químicos y mineralógicos que resultan de calentar muestras de suelos en condiciones de laboratorio a 300 °C y 500 °C durante 1 hora después de añadir a cada uno restos de su propia vegetación.

El efecto del calentamiento sobre C orgánico, N, y CIC fue similar en todos los suelos, con una disminución significativa a 500 °C, los valores de pH incrementan significativamente a 500 °C. Los contenidos de Ca y Mn cambiables incrementan a 300 °C decreciendo posteriormente a 500 °C. Estos cambios han sido atribuidos a la formación de óxidos y carbonatos de estos elementos.

Entre los micronutrientes Mn, P y Zn muestran respuesta significativa al calentamiento para los tipos de vegetación analizados.

Se ha identificado calcita en las cenizas de las distintas especies estudiadas y en suelos con vegetación añadida y calentados, lo que supone que se mantienen elevados valores de pH a más largo plazo.

Palabras clave: Suelos calentados, cenizas, modificaciones químicas, modificaciones mineralógicas.

INTRODUCCION

El fuego afecta al balance de nutrientes del suelo al ser incorporados en las cenizas, dependiendo este aporte de varios factores: temperatura del incendio, naturaleza de la vegetación y cantidad de combustible.

Como consecuencia del calentamiento diversos autores han puesto de manifiesto una serie de modificaciones en las propiedades físicas y químicas del suelo, así como en componentes orgánicos y minerales que son atribuibles a la temperatura alcanzada. Suelos calentados a 100 °C no presentan modificaciones en las propiedades físico-químicas, mientras que en incendios con

intensidad moderada (300-400 °C) se elimina la mayor parte de la materia orgánica, con un decrecimiento significativo del carbono orgánico y nitrógeno (SETSU Y SÁNCHEZ, 1978). Experiencias en suelos calentados a estas temperaturas muestran la formación de cenizas rojizas constituidas por componentes inorgánicos como consecuencia de la incineración de la vegetación. Dichas cenizas constituyen una fuente importante de nutrientes, fundamentalmente de Ca, Mg, K y P y de algunos microelementos (KHANNA & RAISON, 1986; ETIÈGNI & CAPBELL, 1991; KHANA *et al.*, 1994; GONZÁLEZ *et al.*, 1996), que al ser aportados al suelo provocan un aumento de pH y de la conductividad eléctrica así como un aumento en la capacidad de intercambio catiónico (KUTIEL & SHAVIV, 1989; GIOVINI *et al.*, 1990; IGLESIAS *et al.*, 1996).

A 500 °C se generan cenizas blancas que indican una combustión completa de la materia vegetal, con formación de óxidos, hidróxidos y carbonatos cuya incorporación al suelo incrementa de modo significativo el valor del pH (ULERY &

¹ Area de Uso Sostenible del Medio Natural. CIT-INIA. Apdo. 8111. 28080 Madrid.

² Dpto. Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid.

³ Dpto. Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid.

GRAHAM, 1993). WATTEZ & COURTY (1987), estudiando la mineralogía de las cenizas de distintas especies vegetales, calentadas a 500 °C en mufla, observaron la formación de calcita cuando procedían de roble y pino, hecho atribuido a la transformación del oxalato cálcico durante la combustión del tejido vegetal. ULERY Y GRAHAM (1993) pusieron de manifiesto elevados valores de pH en cenizas y suelos impactados, originados por la formación de óxidos, hidróxidos y carbonatos de Na y K, como componentes solubles que desaparecen con el tiempo. Asimismo observaron formación de calcita la cual, debido a su menor grado de solubilidad, mantenía el pH moderadamente alcalino en la superficie del suelo. IGLESIAS *et al.* (1997) observaron también la existencia de calcita en suelos bajo enebro que habían sufrido un incendio forestal de moderada intensidad, así como en sus cenizas calentadas a 500 °C.

Como consecuencia de las altas temperaturas alcanzadas en suelos afectados por incendios de elevada intensidad, se producen transformaciones en los filosilicatos y óxidos del suelo (ULERY *et al.*, 1996), como la alteración de caolinita en los horizontes más superficiales (SERTSU & SÁNCHEZ, 1978; FITZPATRICK, 1980; GONZÁLEZ *et al.*, 1992; IGLESIAS, 1993). Dichas modificaciones mineralógicas tienen importantes repercusiones en los procesos fisicoquímicos del suelo.

En el presente trabajo se evalúa el efecto de la temperatura en suelos con distinto tipo de vegetación sometidos a un calentamiento controlado que condiciona aporte de cenizas de diferentes características.

MATERIALES Y METODOS

Se tomaron muestras de 0-5 cm de suelos desarrollados sobre adamellitas porfídicas (Miraflores de la Sierra, Madrid). Las cubiertas vegetales de estos suelos son: rebollo, o roble melojo, *Quercus pyrenaica* (R); coscoja, *Quercus coccifera* (E); enebro, *Juniperus oxycedrus* (J); piorno, *Cytisus scoparius* (Pi) y pino, *Pinus pinaster* (P).

A 50 g de cada muestra, por triplicado, colocados en una cápsula, se añadieron en superficie 4 g de su propia vegetación calentando durante una hora a 300 °C y 500 °C en mufla. A 300 °C se

obtuvieron cenizas negras, siendo blanco-grisáceas a 500 °C.

En estas muestras se determinaron: pH en H₂O (1:2,5), conductividad eléctrica (1:5), carbono orgánico (WALKLEY-BLACK, 1974), nitrógeno total (método Kjeldahl), cationes de cambio (extracción con acetato amónico 1N pH=7), capacidad de intercambio catiónico (extracción con acetato sódico), contenidos totales de elementos, previa digestión ácida con mezcla HF-HNO₃-HClO₄, determinándose por espectroscopia de plasma en un equipo Perkin-Elmer ICP 400, y óxidos de hierro y manganeso extraídos con oxalato (Fe_{ox}, Mn_{ox}). Los resultados se compararon con los obtenidos en suelos naturales. Se realizaron diagramas de rayos X de todas las muestras calentadas y controles así como de las distintas cenizas obtenidas a 500 °C.

RESULTADOS Y DISCUSION

Por efecto de la temperatura incrementa el pH (Fig. 1), alcanzando a 300 °C valores comprendidos entre 6, con vegetación de pino y 8,2 con vegetación de roble melojo (R). Los máximos valores se obtienen siempre a 500 °C, en intervalos de 8,4 para coscoja (E) y 9,8 para roble melojo. La conductividad eléctrica incrementa a 300 °C para todo tipo de vegetación; a 500 °C no sigue la misma dinámica, aumentando respecto a 300 °C con vegetación de *Q. pyrenaica* y *P. pinaster*, pero no con *J. oxycedrus* y *C. scoparius*.

Los componentes orgánicos (C y N) sufren una fuerte y progresiva disminución con el calentamiento, mucho más acusada con piornos. Las pérdidas de materia orgánica están relacionadas con la intensidad del quemado, dependiendo de la temperatura y la naturaleza de la vegetación. Los valores de CIC (Fig. 2) disminuyen intensamente al calentar para cualquier tipo de vegetación, poniendo de manifiesto la influencia de la materia orgánica.

El comportamiento del calcio extraíble con acetato amónico es semajante en todas las muestras (Fig. 3), observándose bajo vegetación arborea un importante incremento a 300 °C, siendo algo menor con vegetación de pino. A 500 °C los contenidos de calcio extraídos tienden a disminuir ligeramente respecto a los obtenidos a 300 °C, lo

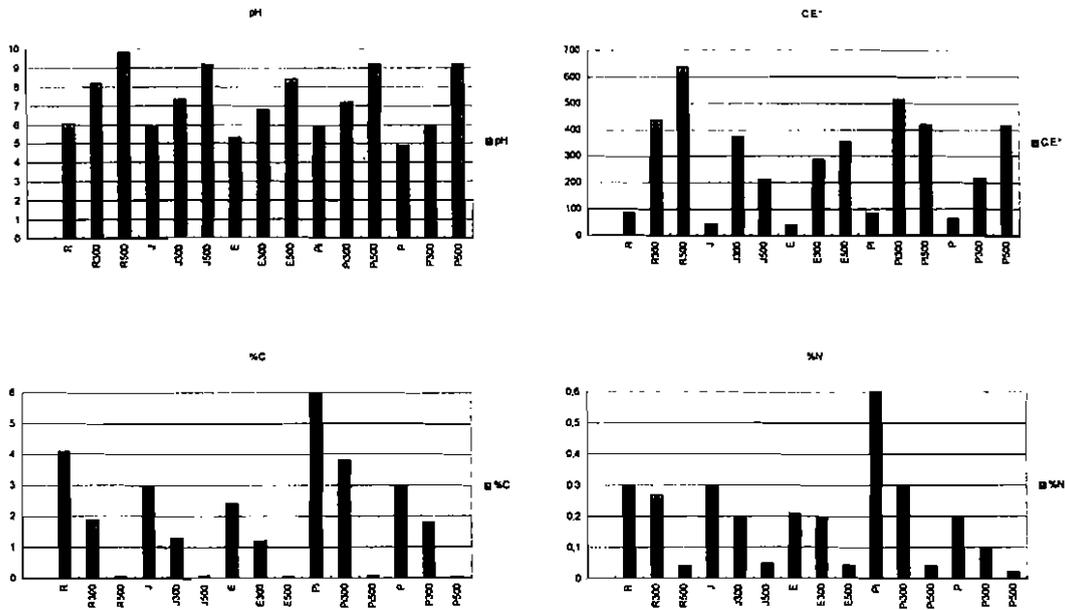


Fig. 1. Valores de pH, C.E. (dS m⁻¹ 10⁻³), y porcentajes de C orgánico y N total.

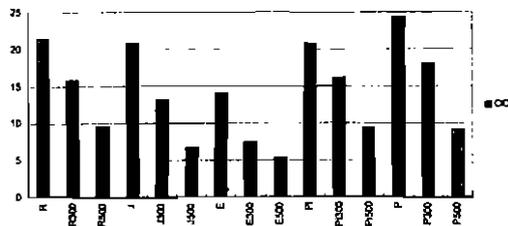


Fig. 2. Valores de capacidad de intercambio catiónico (cmol kg⁻¹).

que puede relacionarse con la formación de compuestos insolubles (carbonatos, fosfatos, óxidos e hidróxidos). El magnesio extraíble experimenta pequeñas variaciones con el calentamiento a 300 °C y 500 °C con tendencia a incrementar ligeramente siendo algo más acusada esta tendencia con vegetación de roble melojo. Los máximos valores de Mg y K extraíbles en muestras calentadas a 300 °C corresponden a *Quercus pyrenaica* y *C. scoparius*. El manganeso de cambio aumenta al calentar a 300 °C, disminuyendo intensamente en cualquier tipo de vegetación cuando el calen-

tamiento es a 500 °C, probablemente debido a la formación de óxidos.

El balance de macro y micro elementos del suelo después del fuego depende de la cantidad y características de las cenizas aportadas, de la composición química de la vegetación y de la intensidad del incendio. Se observa al calentar según el esquema experimental propuesto, es decir para un mismo aporte de cenizas, un aumento en los contenidos totales de calcio (excepto en el pino), correspondiendo los mayores valores al roble melojo; existe aumento de potasio que se hace muy parente con cenizas de pino a 500 °C, especie que alcanza para este elemento los valores más altos; los demás macroelementos apenas sufren variaciones.

Se pone de manifiesto un aumento de Mn, P y Zn, con el calentamiento para cualquier tipo de vegetación (Tabla I). A 300 °C los porcentajes de elementos incrementados siguen las secuencias:

- P: Pino > Enebro > Roble melojo > Coscoja = Piorno
- Mn: Pino >> Enebro = Piorno > Roble melojo > Coscoja
- Zn: Roble > Coscoja > Enebro > Pino > Piorno

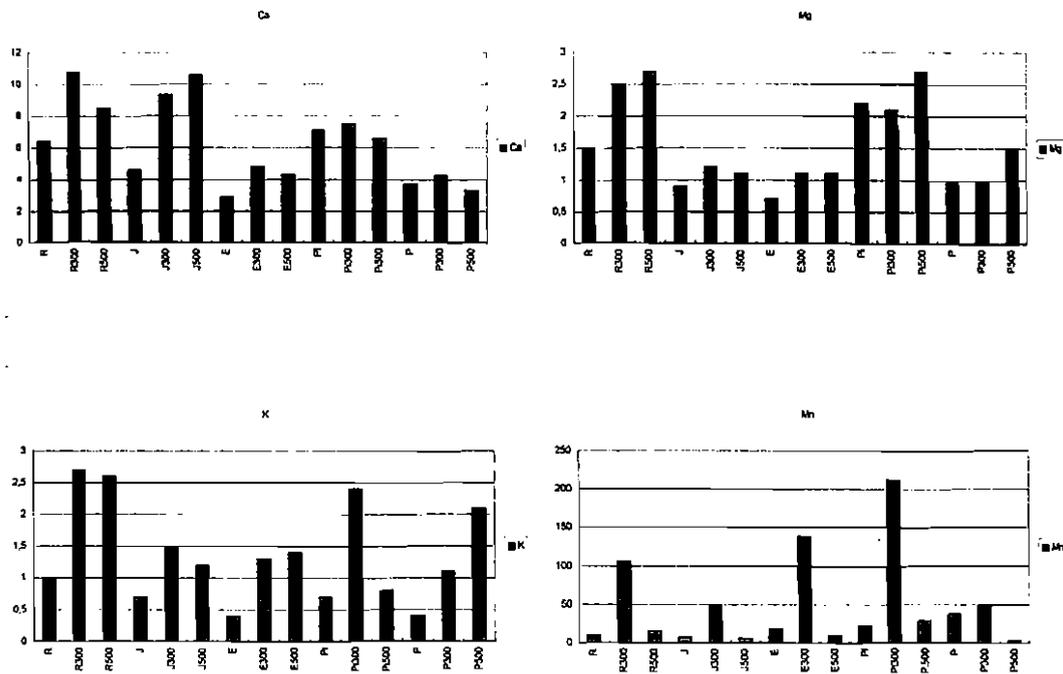


Fig. 3. Contenidos en cationes de cambio (cmol kg⁻¹).

TABLA I

CONTENIDOS TOTALES DE ELEMENTOS EN SUELOS SIN CALENTAR Y CALENTADOS A 300 °C Y 500 °C, CON DISTINTA VEGETACION (R = Roble melojo, J = Enebro, E = Coscoja, P = Pino, Pi = Piorno)

	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)	Fe (%)	Al (%)	P mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg
R	0,84	0,37	1,77	1,75	1,50	6,4	945	475	44,5
R300 °C	0,91	0,38	2,90	1,64	1,60	6,7	1.030	498	80,5
R500 °C	0,92	0,38	2,49	1,76	1,60	7,1	1.068	488	97,5
J	0,56	0,40	2,12	1,51	1,60	6,6	605	303	46,0
J300 °C	0,60	0,38	2,33	1,30	1,50	6,2	680	323	76,5
J500 °C	0,68	0,38	2,07	1,31	1,60	6,2	625	325	57,0
E	0,42	0,36	2,27	1,69	1,30	6,2	703	408	40,5
E300 °C	0,44	0,34	2,78	1,63	1,10	5,7	763	418	71,0
E500 °C	0,54	0,43	3,04	1,85	1,40	6,7	870	516	66,0
P	0,23	0,11	3,10	0,86	0,40	4,6	325	90	58,5
P300 °C	0,16	0,11	3,57	0,95	0,20	5,0	380	120	72,0
P500 °C	0,15	0,10	5,04	0,84	0,20	5,2	408	100	68,0
Pi	0,59	0,39	2,57	1,28	0,70	6,5	918	305	58,5
Pi300 °C	0,65	0,36	2,50	1,32	0,70	6,1	993	325	65,0
Pi500 °C	0,57	0,36	2,24	1,35	0,80	5,3	863	320	61,5

A 500 °C las secuencias son:

P: Pino>Coscoja>Roble melojo>Enebro

Mn: Coscoja>>Pino>Enebro>Piorno>Roble melojo

Zn: Roble melojo>>Coscoja>>Enebro>>Pino>Piorno

El pino es la especie vegetal con mayor incremento de P y Mn a 300 °C, para la misma cantidad de cenizas aportadas, sin embargo los contenidos más elevados en los tres elementos los presenta el roble melojo, siendo esta especie la que manifiesta mayor incremento en Zn a 300 °C y 500 °C.

Los óxidos de Fe y Mn extraídos con oxalato (Tabla II) aumentan al calentar a 300 °C descendiendo el manganeso a 500 °C, lo que indicaría la transformación a formas menos solubles al aumentar la temperatura, corroborado por la ausencia de incremento de óxidos extraíbles. Los incrementos (en %) de Fe y Mn extraíbles después de calentar a 300 °C siguen las secuencias:

TABLA II

OXIDOS DE HIERRO (Fe_{ox}) Y MANGANESO (Mn_{ox}) EXTRAIDOS CON OXALATO EN SUELOS CALENTADOS A 300 °C Y 500 °C CON APORTE DE DISTINTA VEGETACION (R = roble melojo, J = enebro, E = coscoja, P = pino, Pi = piorno)

	Fe _{ox} (mg.kg ⁻¹)	Mn _{ox} (mg.Kg ⁻¹)
R	1.560	290
R300 °C	1.680	320
R500 °C	1.470	272
J	700	104
J300 °C	910	130
J500 °C	770	98
E	1.190	242
E300 °C	1.400	272
E500 °C	1.260	248
P	210	140
P300 °C	280	166
P500 °C	280	104
Pi	1.330	220
Pi300 °C	2.169	452
Pi500 °C	1.680	338

300 °C

Fe: Piorno>Pino>>Enebro>Coscoja> Roble melojo

Mn: Piorno>Enebro>Pino>Coscoja>Roble melojo

500 °C

Fe: Pino>Piorno>Enebro>Coscoja

Mn: Piorno

Por efecto del calentamiento a 500 °C se pone de manifiesto por Rayos X la formación de calcita, con reflexión de intensidad máxima a 0,304 nm, en cenizas procedentes de *Quercus pyrenaica*, *Q. coccifera*, *Pinus pinaster*, *Juniperus oxycedrus* y *Cytisus scoparius* (Fig. 4). En las muestras de suelos a los que se ha añadido vegetación de roble melojo, enebro y coscoja (Fig. 5) según el diseño propuesto en este trabajo también aparece calcita (reflexión a 0,304 nm de débil intensidad); las demás reflexiones de los diagramas (1,01; 0,34; 0,33 y 0,32 nm) corresponden a la mineralogía propia del suelo, constituida por micas illitas, cuarzo y feldespatos. Si es pequeño el aporte de cenizas o menor de 500 °C la temperatura a que se someten las muestras, no se detecta la formación de este mineral.

CONCLUSIONES

El efecto del calentamiento en suelos con restos vegetales aportados, se pone de manifiesto en una disminución del carbono orgánico, nitrógeno total y capacidad de intercambio catiónico, para cualquier especie vegetal, tanto más acusada cuanto mayor sea la temperatura.

El aporte de elementos con las cenizas provoca un incremento del pH, que es más elevado a mayor temperatura, para todas las especies vegetales analizadas.

Los Cationes de cambio, Ca y Mn disminuyen a 500 °C respecto al incremento experimentado a 300 °C debido a la formación de compuestos insolubles. Las formas de Fe y Mn extraíbles con oxalato siguen la misma dinámica.

Tras el calentamiento existe incremento de Mn, P y Zn con cualquier tipo de vegetación, siendo el pino la especie que presenta mayor incremento en Mn y P, mientras que las cenizas de roble melojo son las que incorporan mayor porcentaje de Zn.

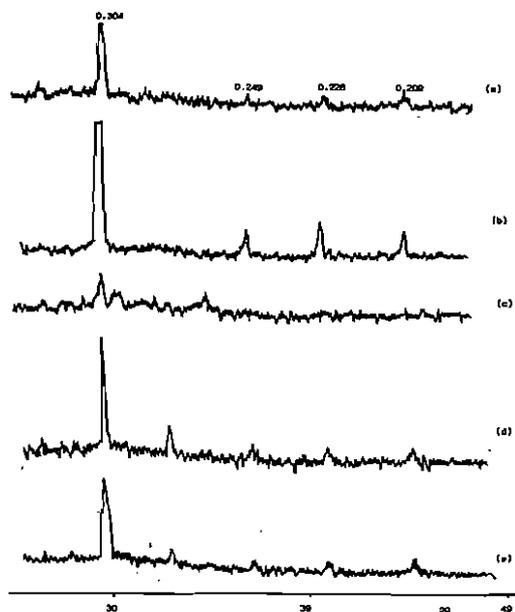


Fig. 4. Diagramas de rayos X de cenizas obtenidas a 500 °C de: (a) roble melojo, (b) enebro, (c) coscoja, (d) pino y (e) piorno.

La formación de calcita como consecuencia de las condiciones creadas post-incendio, mantendrá a más largo plazo unas condiciones moderadamente alcalinas en la superficie del suelo, debido a la escasa solubilidad de este mineral.

Estos estudios *in vitro*, si bien no son extrapola-

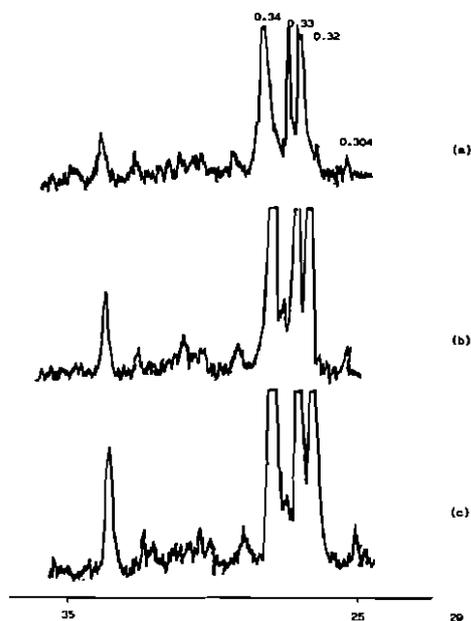


Fig. 5. Diagramas de rayos X de suelos más vegetación calentados a 500 °C, (a) roble melojo, (b) enebro y (c) coscoja.

bles a situaciones reales en las que intervienen una serie de factores no controlables (precipitación, erosión, etc.) pueden ser orientativos de la influencia que la intensidad del incendio, tipo de vegetación y aporte de cenizas puede ejercer en el comportamiento del suelo a corto, medio y largo plazo.

SUMMARY

The purpose of this study was to determine the chemical and mineralogical changes resulting from heating soil samples to 300 °C and 500 °C, in a muffle furnace for one hour, after to add each one plant material.

The effect of heating on organic C, N, and CEC was similar in all soils, a significant decrease took place at 500 °C. The pH values increased significantly at 500 °C. Exchangeable Ca and Mn levels showed an increase at 300 °C followed by a decrease at 500 °C. These changes have been attributed to the formation of oxides and carbonates of these elements.

Among the micronutrient Mn, P and Zn showed significant response to soil heating.

Calcite has been identified in ashes and soils with ashes from all tree species produced by laboratory heating to 500 °C.

Key Words: Heated soils, ashes, chemical modifications, mineralogical modifications.

BIBLIOGRAFIA

- ETIEGNI L. & CAMPBELL A.G. 1991: «Physical and chemical characteristics of wood ash». *Bioresearch Technology*, 37: 173-186.
- FITZPATRICK R.W. 1980: «Effect of forest and grass burning on mineralogical transformations in some soils of Natal». *Soil Irrigation Research Institute Report 952/139/80*. Pretoria. South Africa.
- GIOVANNINI G., LUCCHESI S. & GIACHETTI M. 1990: «Effects of heating on some chemical parameters to soil fertility and plant growth». *Soil Science* 344-350.
- GONZÁLEZ J., FERNÁNDEZ M.C. & GIMENO P. 1992: «Efectos de los incendios forestales sobre el suelo». *Suelo y Planta* 71: 19.
- GONZÁLEZ J., CALA V. & IGLESIAS M.T. 1996: «Forms of Mn in soils affected by a forest fire». *The Science of the Total Environment*, 181: 231-236.
- IGLESIAS M.T. 1993: *Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo en un pinar de repoblación (Pinus pinaster) en Arenas de San Pedro (Avila)*. Tesis Doctoral. Dpto. Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid.
- IGLESIAS M.T., CALA V., WALTER I. & GONZÁLEZ J. 1996: «Efectos de un incendio forestal en suelos de la provincia de Madrid». *Ecología* 10: 105-111.
- IGLESIAS M.T., CALA V. & GONZÁLEZ J. 1997: «Mineralogical and chemical modifications in soils affected by a forest fire in the mediterranean area». *The Science of the Total Environment*, 204: 89-96.
- KHANNA P.K. & RAISON R.J. 1986: «Effect of fire intensity on solution chemistry of surface soil under a *Eucalyptus pauciflora* forest». *Austr. J. Soil Res.* 24: 423-434.
- KHANNA P.K., RAISON R.J. & FALKHNER R.A. 1994: «Chemical properties of ash derived from Eucalyptus litter and its effect on forest soils». *Forest Ecol. Manag.* 66: 107-125.
- KUTIEL P. & SHAVIV A. 1989: «Effect of simulated forest fire on availability of N and P in Mediterranean soils». *Plant and Soil* 120: 57-63.
- SERTSU S.M. & SÁNCHEZ P.A. 1978: «Effects of heating on some changes in soil properties in relation to an Ethiopian land management practice». *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 940-944.
- ULERY A.L. & GRAHAM R.C. 1993: «Wood-ash composition and soil pH following intense burning». *Soil Science* 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.
- WALKLEY A. & BLACK I. 1974: «A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soils». *Soil Science* 63: 251-254.
- WATTEZ J. & COURTY M.A. 1987: «Morphology of ash of some plant materials. Soil Micromorphology». *Procedd. of VIIth International Working Meeting on Soil Micromorphology*. Paris. Edit. N. FEDOROFF, L.M. BRESSON y M.A. COURTY.