

Efecto del fuego sobre la fertilidad edáfica y las comunidades microbianas en el Chaco occidental argentino

Carlos González, Adriana Abril y Marta Acosta

Cátedra de Microbiología Agrícola. Departamento de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. cc 509. 5000 - Córdoba. Argentina.

Resumen. *Este trabajo evaluó el efecto del fuego sobre características de fertilidad edáfica, en la reserva Provincial Forestal Chancaní (Pcia. de Córdoba). Se trabajó en 2 sectores: un sector de bosque nativo y uno desmontado con pastizales naturales y se los comparó con sectores similares no quemados. Se cuantificaron parámetros químicos (pH, nitrógeno, materia orgánica y nitratos) y biológicos (densidad de microorganismos y respiración del suelo) en distinto momento: inmediatamente después del incendio, a los 30, 180, 360 y 720 días. El fuego disminuyó el contenido de materia orgánica y el pH del suelo y aumentó el contenido de nitrógeno total y $N-NO_3$. La respiración del suelo y las poblaciones de microorganismos se vieron muy afectadas salvo aquellas que poseen formas de resistencia. Estas alteraciones se mantuvieron a lo largo de los dos años de la investigación, aunque con tendencia a la recuperación de los valores originales.*

Abstract. *A study was carried out to evaluate the effect of fire on the some chemical properties and the soil microorganisms at the Chancaní Forest Reserve of Córdoba Province. The sites were a native forest and a grassland with burned and unburned patches. Soil samples were taken immediately after fire and after periods of 30, 180, 360, and 720 days. The following chemical and biological parameters were evaluated: pH, total nitrogen, $N-NO_3$, organic matter, soil respiration and soil microorganisms density. As a result of fire, significant losses in soil organic matter content and decreased pH values were observed, together with an increase in nitrogen and $N-NO_3$. Soil respiration and microorganisms were strongly affected with exception of those with resistance forms. The conditions observed were stable over the two years of study, nevertheless, there was a tendency to recover the original values.*

Introducción

El fuego es un componente natural de algunos ecosistemas ya que controla aspectos de la estructura de la vegetación, tales como el equilibrio entre árboles y pastos (Bucher 1982, Skarpe 1992). El fuego es uno de los pocos factores que puede ser manejado por el hombre, siendo éste el principal causante de su inicio y propagación. En regiones áridas y semiáridas es común que se produzcan quemadas en grandes extensiones como resultado de procesos voluntarios o accidentales, favorecidos especialmente por las condiciones climáticas.

La finalidad que se persigue cuando se provoca un incendio varía desde combatir malezas y plagas, acelerar el rebrote de pasturas, hasta eliminar rastrojos y restos de desmonte (Kunst 1996, Wienhold y Klemmenson 1992). En la región del Chaco Seco Argentino el fuego se utiliza para la recuperación de pasturas naturales sin tener en cuenta el efecto de esta práctica sobre la conservación del recurso suelo, factor muy importante en un ecosistema en proceso de desertización y pérdida de productividad.

El efecto más evidente del fuego sobre la fertilidad edáfica, lo constituye la pérdida de materia orgánica por combustión (Kutiel y Shaviv 1992, Prieto *et al.* 1993), por lo cual el suelo queda altamente susceptible a la erosión (Rice 1993, Kutiel *et al.* 1995). Diferentes autores afirman que

después de una quema se ven afectadas características edáficas como textura, aireación y permeabilidad (Sertsu y Sánchez 1978, Ulery y Graham 1993) y que, en consecuencia, el agua de escorrentía se vuelve más enérgica en su poder erosivo por falta de absorción (Mc Nnabb y Swanson 1990, Forrest y Harding 1994). No obstante, existen referencias que el fuego incrementa el contenido de nutrientes disponibles como consecuencia de los procesos de oxidación (Learet *al.* 1996), lo que justifica la mayor producción de gramíneas después de un incendio (Lamont y Runciman 1993, Prieto *et al.* 1993).

Todas estas alteraciones harían que la actividad bacteriana y fúngica, responsable de importantes procesos biológicos del suelo, resulte muy afectada. En general, se menciona una esterilización inicial debida al calor y a la desecación del suelo, pero es escasa la bibliografía que se refiere al efecto del fuego sobre la dinámica de las microbiocenosis edáficas (Amaranthus y Trappe 1993, Albanesi y González 1993, Dumontet *et al.* 1996)

Teniendo en cuenta estos antecedentes, se asume que los incendios provocados o accidentales en los ecosistemas chaqueños, implican un factor más de degradación del suelo con las consecuentes pérdidas de fertilidad y aumento de los procesos erosivos. El propósito de este trabajo ha sido evaluar los cambios edáficos resultantes del fuego y analizar las implicancias de estos efectos sobre el manejo y restauración del bosque chaqueño.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en la Reserva Forestal Chancaní situada al Oeste de las Sierras de Pocho, en la Provincia de Córdoba (31°24'N y 65°33'O). La reserva está comprendida dentro del Chaco Occidental Argentino, caracterizado por altas temperaturas en verano e inviernos moderados, con una media anual de precipitaciones entre 300 y 500 mm concentradas en el verano. Durante el periodo del estudio las precipitaciones registradas fueron: 354 mm en el primer año y 215 mm en el segundo. Los suelos de la reserva son Entisoles de origen aluvial, clasificados según Soil Taxonomy como *Ustifluent molico*, limoso grueso de pH neutro, alta capacidad de intercambio y rico en materia orgánica (Mazzarino *et al.* 1991)

El fuego de gran magnitud que afectó un sector de la Reserva Forestal Natural Chancaní en diciembre de 1994, fue originado en forma accidental y favorecido por fuertes vientos y altas temperaturas propias de la época estival.

Los sitios estudiados fueron:

- 1) Bosque nativo, correspondiente a la comunidad de vegetación descrita por Carranza *et al.* (1992) como bosque de *Prosopis flexuosa* y *Aspidosperma quebracho blanco*. Se trata de un bosque abierto con un estrato de cobertura arbórea variable entre 10 y 40 % . A excepción del *A. quebracho blanco* los árboles de esta comunidad rara vez superan los 7-8 m de altura. El estrato arbustivo presenta valores de cobertura superiores al 60% que lo transforma en un sotobosque casi impenetrable y cuyas especies más abundantes son: *Larrea divaricata*, *Celtis palida*, *Mimozgyanthus carinatus*, *Acacia furcatispina*, *Condalia microphylla*, *Lycium elongatum* y otras. El estrato herbáceo se compone de gran cantidad de especies. Entre las más frecuentes se presentan *Gouinia paraguayensis*, *Trichloris crinita*, *Setaria pampeana*, *Pappophorum caespitosum*, *Trichloris pluriflora* y *Justicia squarrosa*.
- 2) Pastizal mixto, correspondiente a la comunidad de vegetación descrita por Carranza *et al.* (1992) como matorral de *Larrea divaricata*. Se trata de un sector desmontado, dominado por gramíneas perennes y elevada presencia de *Larrea divaricata* (25%) como arbusto invasor. Las especies más abundantes en el estrato herbáceo son: *Neobouteloua lophostachya* y *Sporobolus pyramidatus*, especies indicadoras de degradación. El sitio ha sido uno de los más intensamente utilizados para ganadería en el pasado.

Ninguno de los dos sitios fue pastoreado desde por lo menos, los últimos 10 años. En ambas comunidades de vegetación se seleccionaron sectores quemados y no quemados, que poseían vegetación homogénea antes del fuego, mediante imagen satelital LANDSAT, escala 1:100000, de

setiembre de 1994, mapeada en el Laboratorio de Percepción Remota de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

En cada sector se tomaron 10 muestras de suelo hasta 20 cm de profundidad, sin eliminar el material depositado en superficie. El diseño de muestreo fue al azar sobre una transecta en la diagonal de un lote de aproximadamente una hectárea. El primer muestreo se realizó en el momento de apagado el incendio (inicial) y posteriormente a los 30, 180, 360 y 720 días del siniestro.

Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas por malla 2mm. Se determinó: pH en suspensión suelo/agua 1/1, nitrógeno total por Kjeldhal modificado (Apostolatos, 1984), $N-NO_3^-$ por el método potenciométrico (Keeney and Nelson, 1982), materia orgánica por el método de Walkley y Black (Nelson and Sommer, 1982). La densidad de bacterias se estableció por el método del número más probable, en medios líquidos específicos para los grupos: celulolíticos, amonificadores y nitrificadores (Alexander 1982) y por recuento en placa de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre (Döbereiner 1980) y la respiración del suelo por producción de CO_2 (Alef, 1995). Las muestras fueron incubadas a 28°C durante 5, 7, 15, y 21 días según los tiempos de crecimiento de los grupos microbianos estudiados.

Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante test de varianza de a pares entre sitios quemados y no quemados, en cada comunidad vegetal, previa comprobación de normalidad por el test de Lilliefors y homogeneidad de varianza por el test de Levene. Las diferencias entre medias fueron comparadas usando test de Tukey.

Resultados

Efectos sobre la fertilidad edáfica

El pH del suelo mostró diferencias significativas entre el sector quemado y el no quemado en los primeros muestreos, tanto en el bosque como en el pastizal (Tabla 1). Estas variaciones indican que los suelos disminuyeron su pH como respuesta al fuego. En los últimos muestreos se mantuvieron las diferencias aunque no fueron significativas, evidenciando una tendencia hacia valores del suelo sin alterar.

El contenido en materia orgánica fue significativamente menor en los suelos quemados, tanto en el bosque como en el pastizal (Tabla 1), durante los primeros 180 días, a partir del incendio. Posteriormente, la materia orgánica de los sectores quemados aumentó y no se diferenció de los sectores no quemados.

El nitrógeno total del suelo en el pastizal quemado (Tabla 1) siempre fue mayor que en el sitio no quemado, aunque resultó sólo significativo en el muestreo inicial, por lo que sería un efecto directo en el momento del incendio. En el bosque (Tabla 1), en cambio, no se registraron diferencias significativas en ninguna de las fechas de muestreo.

La relación C/N del suelo (Tabla 1) presentó diferencias significativas entre el sector quemado y el no quemado, en concordancia con la pérdida de materia orgánica y el aumento de nitrógeno en los sectores quemados. A partir del año, cuando disminuyeron los valores de nitrógeno y se incrementó el contenido de carbono, la relación C/N tiende a valores de suelo sin alterar.

El $N-NO_3^-$ en general, fue más elevado en el suelo quemado (Tabla 1). Estos valores estuvieron correlacionados significativamente con el incremento de nitrógeno total ($r^2=0.782$, $P<0.05$), lo que permite suponer un origen mineral.

Efectos sobre las comunidades microbianas

Las poblaciones de organismos fijadores de nitrógeno de vida libre y de amonificadores no mostraron diferencias significativas con el testigo en ninguno de los muestreos (Tabla 2). Sin embargo en las parcelas no incendiadas se presentaron los valores más altos. Esta respuesta de los microorganismos podría deberse a la presencia de formas de resistencia como esporas y microcistos, que les permiten sobrevivir en las condiciones pos-fuego.

La población celulolítica fue reducida significativamente por el fuego en los dos primeros muestreos, tanto en el bosque como en el pastizal (Tabla 2). Esta disminución estuvo correlacionada

Tabla 1. Efecto del fuego sobre la fertilidad del suelo. * indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los sectores quemados (Q) y no quemados (NQ), para una misma fecha de muestreo. B: bosque, P: pastizal.
Table 1. Effect of fire on soil fertility. * indicate significant differences at $P < 0.05$ between burned (Q) and unburned (NQ) patches, at each sample date. B: forest, P: grassland

		Inicial		30 días		180 días		360 días		720 días	
		B	P	B	P	B	P	B	P	B	P
PH	Q	7.1 *	7.3*	7.2 *	7.3	7.4	7.3*	7.5	7.8	8.0	7.6
	NQ	7.5	7.7	7.6	7.5	7.6	7.7	7.8	8.0	8.4	8.0
Materia Orgánica (%)	Q	1.4	0.5*	1.2*	1.5*	1.6*	1.5*	2.4	3.0	1.9	2.2
	NQ	1.8	1.8	2.6	2.2	2.3	3.6	2.4	3.9	2.6	2.9
Nitrógeno Total (%)	Q	0.14	0.25*	0.18	0.26	0.32	0.42	0.22	0.3	0.16	0.22
	NQ	0.18	0.17	0.19	0.21	0.25	0.37	0.19	0.2	0.14	0.17
Relación C/N	Q	5.8	1.1*	4.5*	3.3*	3.2*	2.1*	6.4	6.1*	6.9	4.1
	NQ	5.2	5.9	8.2	6.1	5.4	5.7	9.7	17	11.8	9.9
N-NO ₃ (ppm)	Q	5.7	9.6	4.1*	15.0*	25.5	55.2	21.3*	34*	20.0	25*
	NQ	4.8	13.9	1.7	5.5	11.3	33.3	4.1	4.1	13.3	9.8

Tabla 2. Efecto del fuego sobre las comunidades microbianas del suelo. * indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los sectores quemados (Q) y no quemados (NQ), para una misma fecha de muestreo. B: bosque, P: pastizal.

Table 2. Effect of fire on soil microbial communities. * indicates significant differences at $P < 0.05$ between burned (Q) and unburned (NQ) patches, at each sample date. B: forest, P: grassland.

		Inicial		30 días		180 días		360 días		720 días	
		B	P	B	P	B	P	B	P	B	P
Fijadores (Log g-1)	Q	9.0	7.5	8.5	8.5	10.5	10.3	10.5	11.5	9.2	9.9
	NQ	9.3	9.7	8.7	8.8	9.7	12.9	11.3	11.9	10.9	10.5
Amonificadores (log.g-1)	Q	7.7	7.4	6.7	6.8	7.5	9.9	9.6	10.1	8.9	8.0
	NQ	9.3	8.6	9.3	7.9	9.1	9.2	10.3	10.9	10.3	9.7
Celulolíticos (log g-1)	Q	0.1*	0.9*	0.8*	0.1*	2.6	4.8	5.9	5.8	3.6	5.0
	NQ	2.6	3.3	4.9	4.5	5.0	5.4	6.0	6.1	5.8	5.5
Nitrificadores (log g ⁻¹)	Q	0.3*	0.1*	1.3	0.5	0.1*	1.5*	1.9	3.0	2.2	2.1
	NQ	1.2	1.3	1.6	0.7	2.4	2.8	2.1	3.2	2.2	2.9
CO ₂ (mg g ⁻¹)	Q	0.01*	0.01*	0.12*	0.01*	0.51*	0.37*	0.61*	0.52*	0.71*	0.66*
	NQ	0.50	0.30	0.61	0.31	0.96	0.86	1.21	0.81	1.01	1.11

con la pérdida de materia orgánica ($r^2=0.547, P < 0.05$). En las últimas fechas se mantuvieron valores de densidad más altos en los sectores no quemados aunque estas diferencias no fueron significativas. Este grupo comenzó a recuperarse conjuntamente con la materia orgánica en el suelo.

El número de microorganismos nitrificadores (Tabla 2) siempre fue menor en los sectores quemados. En el primer muestreo, tanto el bosque como el pastizal, mostraron diferencias significativas, mientras que en la segunda toma de muestras, si bien los valores se mantuvieron

inferiores no fueron significativos, evidenciando una recuperación. A los 180 días, en coincidencia con la época invernal, nuevamente se establecieron diferencias significativas a favor de los sitios no quemados. Esto indicaría que los nitrificadores, que forman un grupo funcional muy específico y poco diversificado, sufren marcadamente las alteraciones del ambiente como la quema y las condiciones climáticas de la época seca, recuperándose en los períodos más húmedos. No pudo establecerse correlación significativa entre el número de nitrificadores y el contenido de nitratos por lo que los aumentos registrados se deberían más a la presencia de cenizas que a la actividad mineralizadora de los microorganismos.

La respiración del suelo en las parcelas quemadas resultó muy afectada por el fuego (Tabla 2). A los dos años del fuego, si bien existió alguna recuperación de la respiración en los sectores quemados, los valores se mantuvieron aun significativamente más bajos con respecto a los sitios no incendiados. La menor respiración registrada en las parcelas quemadas se correlacionó significativamente con la disminución en el contenido de materia orgánica, ($r^2=0.701, P<0.05$).

Discusión

Efectos sobre la fertilidad edáfica

El fuego que afectó un sector de la Reserva Forestal Natural Chancaní, fue de gran magnitud, devastando amplios sectores de vegetación de gran porte. Árboles de más de 1m de diámetro basal fueron totalmente incinerados e incluso derribados por efecto del incendio. El fuego se transformó en un hecho totalmente incontrolado y luego de 7 días de intensa combustión, sólo se extinguió a causa de una lluvia.

En el muestreo inicial los suelos se presentaban calcinados, cubiertos de cenizas y sin ningún resto de vegetación. Este efecto duró mucho tiempo ya que recién al año, coincidente con la estación estival, comenzó a observarse la aparición algunas herbáceas latifoliadas y escasa deposición de mantillo.

Por tales motivos el efecto del fuego sobre las características químicas del suelo fue contundente. Las diferencias entre los suelos quemados y no quemados fue profunda y se percibió sobre todo en la disminución del pH, en la pérdida de materia orgánica y en el aumento del contenido de nitrógeno total, correlacionado con el de nitratos.

Estos efectos se relacionan con la combustión y mineralización de todo el material orgánico presente en el suelo, tanto vegetación como mantillo y humus, que lleva a la disminución de materia orgánica en los momentos posteriores al incendio. Estas observaciones confirman lo mencionado por otros autores como Ulery y Graham (1993) y Sertzu y Sánchez (1978). Posteriormente se recuperó el contenido de materia orgánica del suelo, probablemente a causa de la descomposición de los restos de vegetación muerta por el fuego, especialmente raíces y hojas de árboles (Kutiel y Shaviv 1992, Prieto *et al.*, 1993). Sin embargo, una vez agotado ese material descomponible el suelo pasa un período de tiempo prolongado sin aporte de restos orgánicos, hasta que se recupere su vegetación. La duración de este período dependerá de las condiciones originales del suelo, que están relacionadas con el tipo y grado de explotación al cual estuvo sometido, como asimismo al manejo que se haga luego del incendio. En el caso particular de Chancaní, ambos sectores analizados presentaban suelos originalmente en buenas condiciones (Mazzarino *et al.* 1991), que no soportaron ganadería desde que fue creada la reserva y que no fueron explotados luego del fuego. Por tal causa es que se observó una tendencia hacia las condiciones propias de la región, en el tiempo de estudio. Esto sugiere que los ambientes afectados por el fuego deberían clausurarse para acelerar su recuperación, condición que no se cumple cuando la finalidad de la quema es la disponibilidad de pasturas.

En Chancaní la deposición de cenizas fue de gran magnitud a causa de la enorme cantidad de vegetación calcinada, permaneciendo en el suelo hasta más de un año luego del incendio. La presencia de cenizas es de suma importancia en la respuesta de los parámetros químicos en el suelo. Numerosos autores mencionan que a través de su incorporación cambia el pH y aumenta el

contenido de compuestos minerales solubles como nitratos (Marcos *et al.* 1995, Kutiel y Shaviv 1992).

Este aumento en el contenido de nitratos, es lo que sustenta la idea de la utilización del fuego para obtener una mejora de la vegetación a causa de la mayor disponibilidad de nitrógeno en los sectores quemados (Lamont y Runciman 1993, Lear *et al.* 1996). Sin embargo, este efecto no puede ser de larga duración debido a que son compuestos altamente solubles sujetos a lixiviación (Prieto *et al.* 1993, Marcos *et al.* 1995, Rice 1993).

En los sectores de bosque y pastizal el efecto del fuego fue diferente porque el material combustible fue distinto y por ende las temperaturas y duración del fuego. Esto se evidenció sobre todo en los contenidos de nitrógeno y nitratos, a causa de que las mayores temperaturas alcanzadas por la quema del material leñoso del bosque y el mayor tiempo de acción del fuego, provoca volatilización de compuestos nitrogenados y mayor deposición de cenizas (Kunst 1996).

Efectos sobre las comunidades microbianas

Las comunidades edáficas fueron muy alteradas por la presencia del fuego, especialmente aquellos grupos fisiológicos poco diversificados y que no poseen estructuras de resistencia. Estos resultados difieren de lo establecido por algunos autores que indican que las poblaciones edáficas se recuperan al mes siguiente de la aplicación de un fuego prescripto (Albanesi y González 1993).

La respiración del suelo fue un indicador muy importante de las alteraciones provocadas por el incendio. Los resultados de esta variable demuestran que, si bien algunas poblaciones de microorganismos se muestran tolerantes al fuego, la biocenosis edáfica en general sufre una disminución de su actividad por un largo período de tiempo, lo que permite inferir que las alteraciones de las condiciones ambientales y nutritivas son de tal magnitud que no pueden ser amortiguadas por la propia homeostasis del sistema (Dumontet *et al.* 1996). La muerte de las plantas por el fuego es un factor de importancia que incide sobre este parámetro, ya que al desaparecer el ambiente rizosférico la actividad biológica deja de ser estimulada por el aporte de exudados y decamación de tejidos.

Conclusiones

Para una correcta interpretación de los resultados del efecto del fuego sobre las características edáficas, hay que tener en cuenta una serie de factores de suma importancia que pueden modificar sustancialmente la intensidad del impacto y el tiempo de recuperación: a) las características del ecosistema, b) el tipo de explotación, c) la intensidad del fuego y d) la frecuencia con que un sector sufre el efecto del fuego. El tiempo en que un ecosistema puede amortiguar la alteración, depende de las condiciones propias del mismo y en especial de algunas características del suelo especialmente el contenido de materia orgánica que actúa como buffer de la fertilidad.

No se tienen registros que la Reserva de Chancaní haya sufrido el fuego con anterioridad, lo que supondría que la vegetación original podría recuperarse en un mediano plazo, contribuyendo para ello el hecho de ser una zona sin explotación ganadera previa ni posterior al incendio. Sin embargo hasta los dos años del fuego, las únicas especies que prosperaron fueron representativas del "fachinal", lo que supondría que los cambios de las condiciones edáficas conducirán a un sistema menos productivo.

Agradecimientos. Este trabajo ha sido posible gracias al subsidio otorgado por la Secyt (UNC). Los autores agradecen a la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables y a la Dirección de Defensa Civil de la Provincia de Córdoba, por el apoyo brindado en las tareas de campo y por la información sobre incendios en la provincia de Córdoba.

Bibliografía

- Albanesi, A. y C. Gonzalez. 1993. Fuego prescripto: su efecto sobre la microflora celulolítica y nitrificadora del suelo. 94-96. En: INTA (ed.). *Ecología y manejo de fuego en ecosistemas naturales y modificados*. Santiago del Estero. Argentina.
- Alef, K. 1995. Soil Respiration. Pp. 214-219. In Kassem, A. and P. Nannipieri (eds.). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press. Harcourt Brace & Company Publishers. London.
- Amaranthus, M.P. and J.M. Trappe. 1993. Effects of erosion on ecto- and VA-mycorrhizal inoculum potential of soil following forest fire in southwest Oregon. *Plant and Soil* 150: 41 - 49.
- Alexander, M. 1982. Most probable number. Method for microbial population. Pp. 815-820. In: Page, A.L., R. H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) *Methods of Soil Analysis*. Soil Science Society of America. Wisconsin.
- Apostolatos, G. 1984. Technicall note: A rapid inexpensive procedure for determination of nitrogen in plant materials. *Journal of Food Technology* 1 : 639-642
- Bucher, E. 1982. Chaco and Caatinga-South american arid savannas, woodlands and thickets. Pp. 48-79. In: Huntley, B.J. and B.H. Walker (eds.). *Ecology of Tropical Savannas*. Springer- Verlag. Berlin.
- Carranza, L., N. Cabido, A. Acosta y S. Paez. 1992. Comunidades vegetales de] Parque Natural Provincial y Reserva Forestal Natural Chancaní, Provincia de Córdoba. *Lilloa* 38:75-92.
- Döbereiner, J. 1980. Forage grasses and grain crops. Pp. 535-555. In: F.J. Bergersen (ed.). *Methods for evaluating biological nitrogen fixation*. Wiley and Sons. Chichester.
- Dumontet, S., H. Diné, A. Scopa, A. Mazzatura, and A. Saracino. 1996. Post-fire soil microbial biomass and nutrient content of a pine forest soil from a dunal mediterranean enviroment. *Soil Biol. Biochem.* 28 1467-1475
- Forrest, C.L. and M.V.Harding. 1994. Erosion and sediment control: preventing additional disasters after the Southern California fires. *Journal of Soil and Water Conservation* 49: 535-541.
- Keeney, D. and D. Nelson. 1982. Nitrogen - Inorganic forms. Pp. 643-698. In: Page, A.L., R. H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) *Methods of soil analysis*. Soil Science Society of America. Wisconsin.
- Kunst, C. 1996. Efectos del fuego sobre el suelo. Pp. 17-28. En: INTA (ed.). *Fuego Prescripto*. Santiago del Estero. Argentina.
- Kutiél, P., H. Lavee, M. Segev, and Y. Benyamini . 1995. The effect of fire-induced surface heterogeneity on rainfall-runoff-erosion relationships in an eastern Mediterranean ecosystem, Israel. *Catena* 25: 77-87.
- Kutiél, P. and A. Shaviv. 1992. Effects of soil type, plant composition and leaching on soil nutrients following a simulated forest fire. *Forest Ecology and Management* 53: 329-343.
- Lamont, B. and H.V. Runcimann. 1993. Fire may stimulate flowering, branching, seed production and seedling establishment in 2 Kangaroo Paws (Haemodoraceae). *Journal of Applied Ecology* 30 : 256 - 264.
- Lear, H.A., T.R. Seastedt, J. M. Briggs, J. M. Blair and R.A. Ramundo. 1996. Fire and topographic effects on decomposition rates and N dynamics of buried wood in tallgrass prairie. *Soil Biol. Biochem.* 28: 323-329.
- Marcos, E., P.Alonso, R. Tarrega and E.L.Calabuig. 1995. Temporary changes of the edaphic characteristics during the first year of postfire regeneration in two Oak Groves. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 9: 289-297.
- Mazzarino, M.J., L. Oliva, A. Nuñez, G. Nuñez and E. Buffa. 1991. Nitrogen mineralization and soil fertility in the Dry Chaco Ecosystem (Argentina). *Soil Science Society of American Journal* 55: 515 - 522.
- Mc Nabb, D. and F. Swanson. 1990. Effects of fire on soil erosion. Pp. 159-173. In: Walstad, J.D., S.R. Radosovich and D.V. Sandberg (eds.). *Natural and prescribed fire in Pacific Northwest Forest*. Oregon.
- Nelson, D. W. and L.E. Sommer. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 539-579. In: Page, A.L., R. H. Miller and D.R. Keeney (eds.) *Methods of soil analysis*. Soil Science Society of America. Wisconsin.
- Prieto, A., M. Fernandez, M. C. Villar and T. Carballas. 1993. Short - term effects of a wildfire on the nitrogen status and its mineralization kinetics in an Atlantic forest soil. *Soil Biol. Biochem.* 25: 1657-1664.
- Rice, S.K. 1993. Vegetation establishment in postfire *Adenostoma* chaparral in relation to fine - scale pattern in fire intensity and soil nutrients. *Journal of Vegetation Science* 4: 115-124.
- Sertsu, S.M. and P.A. Sanchez. 1978. Effects of hearting on some change in soil properties in relation to an Ethiopian land management practice. *Soil Science Society of American Journal* 42 : 940-944.
- Skarpe, C. 1992. Dynamics of savanna ecosystems. *Journal of Vegetation Science* 3: 293-300.
- Ulery, A.L. and R.C. Graham. 1993. Forest fire effects on soil color and texture. *Soil Science Society of American Journal* 57 : 153-140.

Wienhold, B.J. and J.O. Klemmenson. 1992. Effect of prescribed fire on nitrogen and phosphorous in Arizona Chaparral soil plant systems. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 6: 285-296.

Recibido: Diciembre 7, 1998

Aceptado: Enero 22, 2000