

# EFECTOS DEL INCENDIO DE UN JARAL SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES EDÁFICAS. INFLUENCIA DE LA ORIENTACIÓN Y EL TIEMPO TRANSCURRIDO

Teresa de los Bueis Mellado, M<sup>a</sup> Belén Turrión Nieves y Lorena Cifuentes Alonso

Instituto Universitario de Investigación Gestión Forestal Sostenible. E.T.S. Ingenierías Agrarias de Palencia. Universidad de Valladolid. Avda. Madrid 44. 34071-PALENCIA (España)

## Resumen

En el presente trabajo se estudió la influencia de la orientación y del tiempo transcurrido tras un incendio sobre *Cistus ladanifer* L. en algunas propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo, las raíces finas y las cenizas. Los resultados más interesantes se obtuvieron en el análisis de los parámetros químicos y bioquímicos, no observándose diferencias significativas en los parámetros físicos analizados. En la orientación sur los valores de C total ( $C_T$ ), N total ( $N_T$ ), y la relación  $C_T/N_T$  de las cenizas fueron significativamente superiores a los de la orientación norte. Los efectos del incendio fueron más evidentes en la profundidad 0-2 cm. Se observaron diferencias significativas entre orientaciones en el pH, el P asimilable ( $P_{as}$ ) y el  $C_T$  siendo superiores los valores de la orientación sur. A corto plazo se observó un aumento significativo en comparación a los testigos para los parámetros pH,  $P_{as}$ ,  $C_T$  y C microbiano.

Palabras clave: Fuego, Suelo, *Cistus ladanifer*, Suelo mineral, Raíces finas, Cenizas

## INTRODUCCIÓN

Las consecuencias que acarrear los incendios son múltiples y entre ellas encontramos las alteraciones que provocan sobre el suelo. Éste queda desprovisto de vegetación, disminuye su contenido de materia orgánica así como las poblaciones de microorganismos que alberga y destruye los agregados y el complejo arcillo-húmico ralentizando así la recolonización vegetal del mismo. La hidrología se ve también alterada al disminuir la infiltración e incrementarse la escorrentía superficial, lo que provoca una disminución de la reserva de agua del suelo, el lavado de los nutrientes y erosión superficial. La resiliencia de los suelos dependerá de la intensidad del fuego y se verá mermada con la disminución del contenido y de la tasa de mine-

ralización de C (LAL, 1997). La actividad microbiana responsable de la mineralización de C y de la creación de la estructura del suelo se ve negativamente afectada por la acción directa del fuego e indirectamente a causa de la degradación de la cubierta vegetal (GARCÍA *et al.*, 2002).

Los objetivos del presente trabajo fueron determinar la influencia de la orientación y del tiempo transcurrido tras un incendio sobre jaral en algunas propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo, las raíces finas y las cenizas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la comarca de Aliste, provincia de Zamora, en los términos municipales de Rabanales y Viñas. Ambos sufrieron sendos

incendios forestales en zonas pobladas por la especie *Cistus ladanifer* L. Los suelos de la zona son ácidos y poco profundos, siendo clasificados como cambisoles húmicos (GARCÍA et al., 1995). El incendio de Viñas ocurrió en el mes de marzo de 2002 y el de Rabanales en julio de 2005. La toma de muestras se realizó en el mes de noviembre de 2005, por lo que en la zona de Viñas se han estudiado los efectos del fuego a medio plazo (3 años tras el incendio) y en la de Rabanales a corto plazo (3 meses tras el incendio). En ambas zonas se seleccionaron áreas con orientación norte y sur así como sus correspondientes zonas testigo de similares características y que no habían sufrido incendio. Las coordenadas UTM (ED50) de la zona de estudio a corto plazo con orientación norte son 708108.5, 4628030.7 m y con orientación sur 709376.6, 4628129.5 m. La zona de estudio a medio plazo con orientación norte se encuentra en las coordenadas 731860, 4619807.1 m y la de orientación sur en 730500, 4621692.8 m. En cada una de estas zonas se establecieron tres parcelas de 2x50 m teniéndose un total de 24 parcelas. Tanto las parcelas testigo como las quemadas presentan una vegetación similar y homogénea de jaral de *Cistus ladanifer* que en la madurez alcanza los dos metros de altura y cobertura completa, momento en el que sistemáticamente se producen los incendios.

En cada una de dichas parcelas se llevó a cabo el muestreo del suelo mineral, raíces finas y cenizas. El muestreo de suelo mineral se llevó a cabo a dos profundidades: superficial (0-2 cm) y subsuperficial (2-10 cm) mediante el muestreo de seis puntos aleatorios dentro de cada parcela obteniendo así una muestra compuesta por parcela para su posterior análisis. A partir de estas muestras se obtuvieron por separación mediante tamizado y ultrasonidos las muestras de raíces finas, igualmente diferenciando ambas profundidades. Las cenizas se muestrearon también de forma aleatoria dentro de cada parcela, obteniendo cuatro muestras correspondientes a una superficie de 20x20 cm que se mezclaron para obtener una muestra compuesta por parcela.

Sobre el suelo mineral se determinó: los contenidos en C total ( $C_T$ ) y N total ( $N_T$ ) mediante combustión en analizador elemental LECO® CHN-2000 y se calculó la relación  $C_T/N_T$ ; la porosidad considerándose la densidad aparente y la densidad real; el agua útil a través del estudio de

la capacidad de campo y el coeficiente de marchitamiento en equipo de pF a 1/3 atm y 15 atm respectivamente; el pH por el Convenio Internacional (ISSS) en suspensión suelo-agua 1:2.5; el P asimilable ( $P_{as}$ ) mediante el método OLSEN et al. (1954); el C mineralizable siguiendo la metodología de ISERMEYER (1952); el C microbiano ( $C_{mic}$ ) mediante fumigación-extracción y posterior valoración por oxidación con dicromato potásico (VANCE et al., 1987; JOERGENSEN, 1995); y la textura a través del método de la pipeta. También se determinó la cantidad de raíces finas, su contenido en  $C_T$ ,  $N_T$  y la relación  $C_T/N_T$ . Para las muestras de cenizas se calculó la cantidad de cenizas presente, su  $C_T$ , su  $N_T$  y la relación  $C_T/N_T$ .

Se realizó un Análisis de la Varianza Factorial sobre los efectos principales tiempo, orientación, fuego y profundidad así como sobre las interacciones dos a dos entre los factores considerados. El modelo puede representarse de la siguiente manera:

$$Y_{ijk\dots} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \dots + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + \dots + \varepsilon_{ijk\dots}$$

( $\mu$ : media global;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , ...: efectos principales de los factores en la respuesta;  $(\alpha\beta)$ ,  $(\alpha\gamma)$ ,  $(\beta\gamma)$ , ...: efectos de las interacciones de orden 2;  $\varepsilon$ : error experimental.)

Para aquellas interacciones significativas en que intervino el efecto fuego se realizó el Test de Bonferroni.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 refleja los resultados obtenidos en el análisis de la varianza. En la Tabla 2 se presentan los valores medios y las desviaciones típicas que se obtuvieron para los distintos parámetros estudiados. En este apartado se desarrollan y discuten los resultados de aquellos parámetros químicos o bioquímicos en los que las interacciones entre dos efectos principales fueron significativas siendo uno de los efectos el fuego ya que es el que mayor interés presenta para este estudio. No se encontraron diferencias significativas para ninguno de los parámetros físicos analizados.

### Suelo mineral

Los suelos quemados mostraron valores de pH más elevados que los testigos, siendo este

		Efectos principales				Interacciones		
		Fuego (F)	Orientación (O)	Profundidad (P)	Tiempo (T)	F · O	F · P	F · T
<b>Suelo mineral</b>	pH	***	***	***	NS	*	***	NS
	P <sub>as</sub>	***	***	***	***	*	**	**
	C <sub>T</sub>	NS	*	***	***	**	NS	*
	N <sub>T</sub>	NS	***	***	NS	NS	NS	NS
	C <sub>T</sub> /N <sub>T</sub>	NS	***	*	***	NS	NS	NS
	C <sub>min</sub>	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
	C <sub>min</sub> /C <sub>T</sub>	NS	NS	***	***	NS	NS	NS
	C <sub>mic</sub>	*	***	***	***	NS	NS	***
	C <sub>mic</sub> /C <sub>T</sub>	NS	*	**	***	NS	NS	NS
	EF	NS	***	***	***	NS	NS	NS
	Po	NS	NS	-	*	NS	-	NS
	AU	NS	**	***	*	NS	NS	NS
<b>Raíces</b>	A	NS	*	***	***	NS	NS	NS
	C <sub>T</sub>	NS	NS	NS	*	NS	NS	***
	N <sub>T</sub>	NS	NS	***	*	NS	NS	NS
	C <sub>T</sub> /N <sub>T</sub>	NS	NS	***	NS	NS	NS	NS
<b>Ceniza</b>	C <sub>T</sub>	-	***	-	-	-	-	-
	N <sub>T</sub>	-	***	-	-	-	-	-
	C <sub>T</sub> /N <sub>T</sub>	-	***	-	-	-	-	-

**Tabla 1.** Resultados obtenidos en el ANOVA factorial realizado. P<sub>as</sub>: P asimilable. C<sub>T</sub>: C total. N<sub>T</sub>: N total. C<sub>min</sub>: C mineralizable. C<sub>mic</sub>: C microbiano. EF: Elementos finos. Po: porosidad. AU: agua útil. A: abundancia. NS: no significativo. \*: p<0,05; \*\*: p<0,01; \*\*\*: p<0,001; -: no corresponde. Número de datos en los análisis de suelo mineral y raíces: 48. Número de datos en los análisis de ceniza: 12

aumento significativo en la profundidad 0-2 cm, hecho que era de esperar ya que la acumulación de cenizas se realiza en superficie (Figura 1). Multitud de estudios demuestran un aumento significativo del pH del suelo tras un incendio (IGLESIAS, 1993; KUTIEL & KUTIEL, 1989; MATAIX, 1999; RAISON, 1979; ROMANYÁ et al., 1994; ÚBEDA, 2001). Dicho incremento fue significativo únicamente en las zonas con orientación norte (Figura 2) posiblemente debido a una mayor intensidad del fuego. ÚBEDA (2001) observó incrementos superiores en el pH en las zonas más intensamente quemadas. Asimismo, DÍAZ-FIERROS et al. (1982) indicaron que tras un incendio de baja intensidad el pH apenas varía.

Tal y como se observa en las Figuras 3, 4 y 5, el P<sub>as</sub> incrementa significativamente por efecto del fuego a corto plazo así como en la capa superficial (0-2 cm) y en la orientación sur. A medio plazo, dicho efecto no resulta significativo. Estos resultados concuerdan con los obteni-

dos por ROMANYÁ et al. (1994) y AFIF-KHOURI Y OLIVEIRA-PRENDES (2006).

Se aprecia que tras el incendio el CT fue significativamente superior en la zona sur que en la norte (Figura 6). ÚBEDA (2001) observó que tras un incendio de baja intensidad se produce un incremento de C mientras que tras un incendio de alta intensidad se observa un descenso ya que al superarse los 450°C la combustión de la materia orgánica es casi total (GIOVANNINI, 1994). DÍAZ-FIERROS et al. (1982) y SÁNCHEZ et al. (1994) observaron asimismo un incremento en la materia orgánica en suelos que habían sufrido incendios de baja intensidad. Por tanto, podemos deducir que en la orientación sur se pudo producir un incendio de baja intensidad que mostró una tendencia hacia el aumento en el contenido de C<sub>T</sub> mientras que en la orientación norte se originó un incendio de más alta intensidad que calcinó parte de la materia orgánica reflejándose en un descenso no significativo del contenido de C<sub>T</sub>.

Suelo mineral									
		Testigo				Quemado			
		Norte		Sur		Norte		Sur	
		0-2 cm	2-10 cm						
pH	CP	5,41±0,13	5,16±0,06	5,57±0,18	5,46±0,34	5,89±0,16	5,28±0,15	6,43±0,11	5,19±0,16
	MP	4,94±0,15	4,90±0,13	5,85±0,06	5,83±0,06	5,66±0,19	5,42±0,28	6,13±0,17	5,81±0,17
P <sub>as</sub>	CP	16,74±2,25	8,08±1,08	20,50±1,96	10,21±3,02	21,85±3,31	17,36±1,82	69,74±8,63	24,09±7,17
	MP	11,46±1,02	4,91±0,70	16,11±3,59	6,25±1,93	29,38±2,39	12,17±6,51	29,17±8,60	8,31±2,02
C <sub>T</sub>	CP	4,16±1,22	1,39±0,17	2,71±0,65	1,62±0,44	3,39±0,34	1,64±0,26	6,23±1,36	1,50±0,40
	MP	5,28±0,55	2,80±0,51	6,41±0,94	2,35±0,05	4,21±0,11	1,84±0,08	6,57±1,71	2,29±0,42
N <sub>T</sub>	CP	0,32±0,07	0,15±0,00	0,20±0,04	0,13±0,01	0,29±0,02	0,18±0,03	0,38±0,09	0,14±0,04
	MP	0,18±0,03	0,07±0,02	0,44±0,05	0,20±0,01	0,21±0,00	0,04±0,01	0,47±0,11	0,17±0,02
C <sub>T</sub> /N <sub>T</sub>	CP	12,71±1,01	9,53±0,95	13,30±0,68	12,03±2,13	11,52±0,32	9,03±0,22	16,61±17,4	10,94±0,62
	MP	28,99±2,77	42,46±5,51	14,39±0,35	11,64±0,51	20,36±0,80	51,46±9,85	13,85±0,75	13,13±0,67
C <sub>min</sub>	CP	131±31	101±242	101±19	237±7	101±23	242±1	200±18	231±4
	MP	133±5	75±16	181±6	195±117	164±16	170±117	202±5	66±12
C <sub>min</sub> /C <sub>T</sub>	CP	87±48	174±22	38±3	152±34	31±3	150±26	33±4	163±47
	MP	25±2	27±2	29±3	84±51	39±3	91±62	32±7	29±5
C <sub>mic</sub>	CP	712±99	384±19	1041±14	683±21	801±42	504±31	1.227±64	680±67
	MP	1.021±78	592±95	1.000±126	405±50	790±182	327±82	639±87	361±21
C <sub>mic</sub> /C <sub>T</sub>	CP	176±24	279±28	398±90	439±101	237±13	315±70	202±33	376±18
	MP	195±20	213±27	159±38	172±24	187±39	178±47	107±23	160±20
EF	CP	64±3	55±4	59±2	42±4	63±3	54±1	62±7	58±3
	MP	77±3	67±6	57±6	52±3	80±4	75±2	57±15	46±7
Po	CP	59±11	53±13	62±2	59±3				
	MP	72±6	64±8	65±5	65±7				
AU	CP	32±10	18±2	17±3	11±7	30±4	20±2	31±6	16±2
	MP	32±5	21±6	27±3	20±3	33±6	18±3	31±4	19±3
Raíces finas									
A	CP	1,87±0,43	1,29±0,65	0,27±0,00	1,19±0,59	0,74±0,54	1,11±0,41	1,37±0,75	1,18±0,57
	MP	4,06±1,63	1,95±0,28	7,36±3,14	2,03±1,34	4,15±1,37	1,84±1,15	9,37±3,64	3,46±1,02
C <sub>T</sub>	CP	42,27±1,99	43,85±0,29	45,04±0,29	45,39±0,17	46,91±2,88	45,63±0,79	45,63±0,49	45,50±0,60
	MP	45,34±0,97	46,23±0,84	44,59±0,01	43,83±0,74	43,36±0,62	42,31±1,73	43,79±0,98	42,86±1,03
N <sub>T</sub>	CP	1,28±0,10	1,01±0,09	1,07±0,07	0,80±0,05	1,15±0,10	1,05±0,07	1,00±0,10	0,94±0,08
	MP	0,93±0,06	0,79±0,04	1,04±0,06	0,97±0,03	0,99±0,05	0,82±0,04	1,20±0,18	1,05±0,14
C <sub>T</sub> /N <sub>T</sub>	CP	33,14±2,63	43,54±3,95	42,32±3,12	57,06±3,78	41,16±5,45	43,76±3,44	45,75±4,58	48,77±4,68
	MP	48,97±3,33	58,39±2,63	43,14±2,63	45,05±1,94	43,99±2,89	51,55±0,35	37,15±5,69	41,34±6,24

**Tabla 2.** Valores medios y desviaciones típicas de los parámetros analizados. CP: corto plazo (3 meses); MP: medio plazo (3 años). P<sub>asimilable</sub> (mg P/kg suelo). C<sub>T</sub> (%). N<sub>T</sub> (%). C<sub>min</sub>: C mineralizable (mg C-CO<sub>2</sub>/kg suelo \* día). C<sub>min</sub>/C<sub>T</sub> (mg C min/g C<sub>T</sub>). C<sub>mic</sub>: C microbiano (mg C<sub>mic</sub>/kg suelo). C<sub>mic</sub>/C<sub>T</sub> (mg C<sub>mic</sub>/g C<sub>T</sub>). EF: Elementos finos (%). Po: porosidad (%). AU: agua útil (%). A: abundancia (mg raíces/g suelo)

En cuanto al efecto del tiempo transcurrido tras el incendio, a corto plazo se observó un incremento no significativo en C<sub>T</sub> mientras que a medio plazo se produjo un descenso no signi-

ficativo en el mismo (Figura 7). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por AFIF-KHOURI Y OLIVEIRA-PRENDES (2006) en los que se pone de manifiesto que C proveniente del material

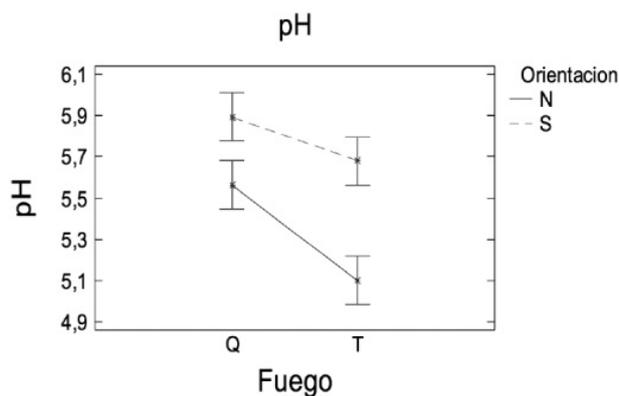


Figura 1. Interacción fuego-orientación para el pH del suelo (Q: quemado; T: testigo; N: norte; S: sur)

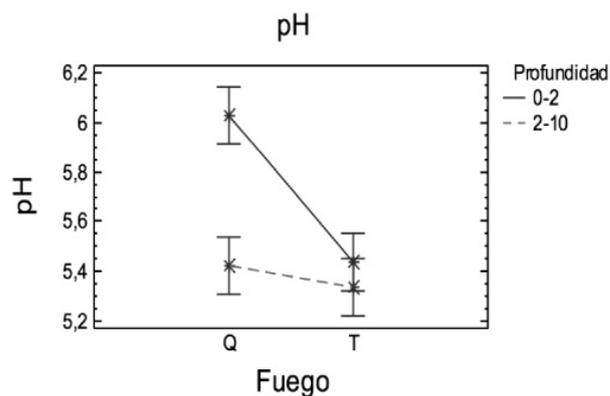


Figura 2. Interacción fuego-profundidad (en cm) para el pH del suelo (Q: quemado; T: testigo)

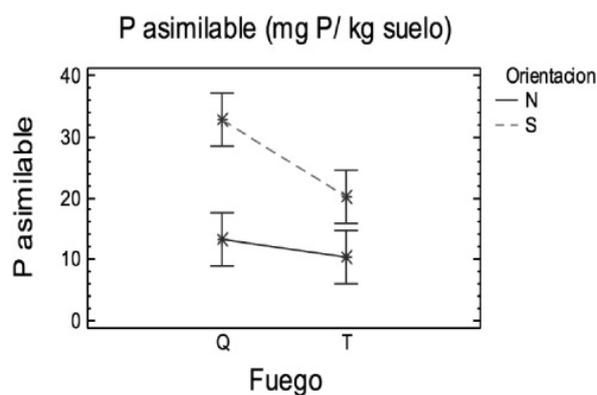


Figura 3. Interacción fuego-orientación para el P asimilable del suelo (Q: quemado; T: testigo; N: norte; S: sur)

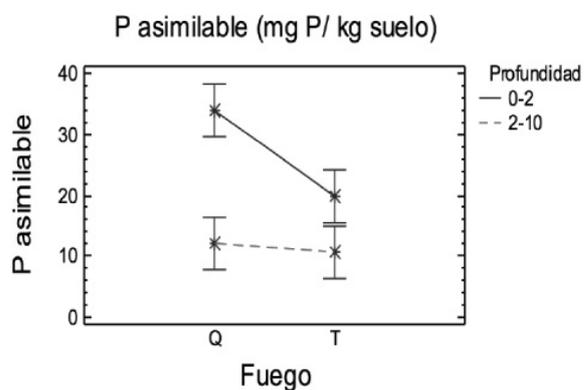


Figura 4. Interacción fuego-profundidad (en cm) para el P asimilable del suelo (Q: quemado; T: testigo)

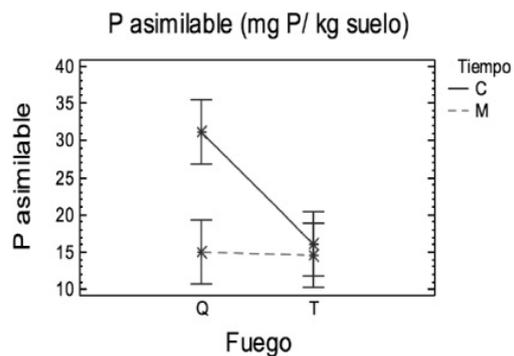


Figura 5. Interacción fuego-tiempo para el P asimilable del suelo (Q: quemado; T: testigo; C: corto plazo; M: medio plazo)

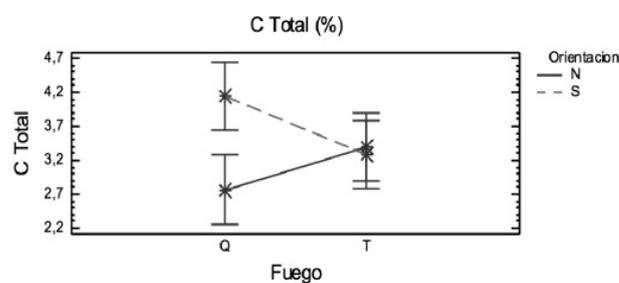


Figura 6. Interacción fuego-orientación para el C total del suelo (Q: quemado; T: testigo; N: norte; S: sur)

vegetal quemado pasa rápidamente al suelo, produciéndose a partir de entonces una ligera y gradual disminución en los meses posteriores.

En el presente estudio el contenido en  $C_{mic}$  del suelo experimentó un incremento no significativo a corto plazo tras el incendio originado

posiblemente por la mayor disponibilidad de nutrientes observada a corto plazo, mientras que a medio plazo sufre un descenso significativo (Figura 8). Este descenso concuerda con el observado por otros autores (DÍAZ-RAVIÑA *et al.*, 1995, 1996; DUMONTET *et al.*, 1996).

**Raíces**

En cuanto al contenido de  $C_T$  en las raíces, se observó que los suelos testigo no presentaban diferencias significativas. Tras el incendio en la fracción más superficial (0-2 cm) la cantidad de  $C_T$  en las raíces aumentó de forma significativa a corto plazo, mientras que en la profundidad de 2-10 cm se apreció un descenso significativo a medio plazo (Figuras 9 y 10). Estas tendencias son similares a las observadas en el contenido de  $C_T$  en el suelo mineral y tienen su origen igualmente en el aumento inicial de fertilidad experimentado tras el incendio y la disminución progresiva que se observa a medio plazo. La relación  $C_T/N_T$  experimentó un incremento no significativo a corto plazo y un descenso igualmente no significativo a medio plazo en ambas profundidades analizadas.

**Cenizas**

Los contenidos en  $C_T$ ,  $N_T$  y la relación  $C_T/N_T$  de las cenizas resultaron ser significativamente

superiores en la orientación sur que en la norte. Posiblemente las cenizas de la orientación sur tengan una cantidad importante de materia orgánica no calcinada mientras que en la orientación norte el material vegetal ha sufrido una combustión notable a causa de la intensidad del fuego, resultados que concuerdan con los obtenidos para el  $C_T$  del suelo mineral (Tabla 3).

**CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos reflejaron la existencia de un incremento momentáneo de la fertilidad del suelo quemado a corto plazo. A medio plazo se produjo una disminución de esta fertilidad alcanzando estos parámetros valores similares a los de los suelos testigo.

Este incremento de fertilidad fue superior en las zonas con orientación sur, posiblemente porque en las de orientación norte el fuego fue de

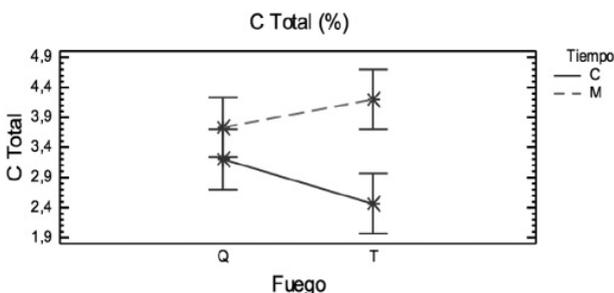


Figura 7. Interacción fuego-tiempo para el C total del suelo (Q: quemado; T: testigo; C: corto plazo; M: medio plazo)

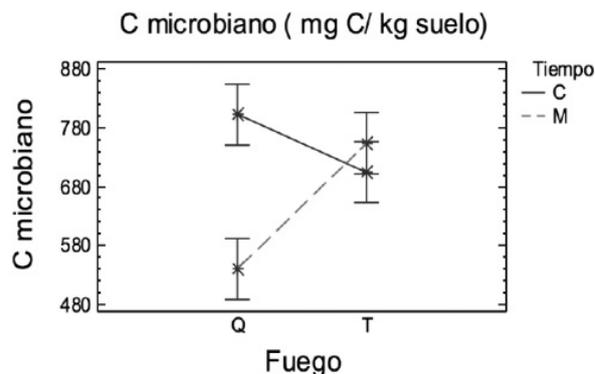


Figura 8. Interacción fuego-tiempo para el C microbiano del suelo en la profundidad de 0 a 2 cm (Q: quemado; T: testigo; C: corto plazo; M: medio plazo)

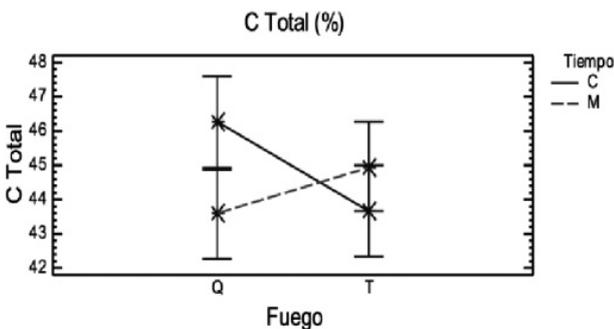


Figura 9. Interacción fuego-tiempo para el C total en las raíces de la profundidad 0 a 2 cm (Q: quemado; T: testigo; C: corto plazo; M: medio plazo)

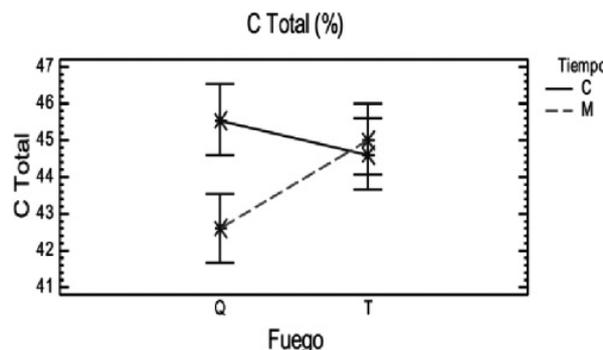


Figura 10. Interacción fuego-tiempo para el C total en las raíces de la profundidad 2 a 10 cm (Q: quemado; T: testigo; C: corto plazo; M: medio plazo)

	Orientación	
	Norte	Sur
C <sub>T</sub>	6,16±0,91	30,54±5,26
N <sub>T</sub>	0,60±0,09	1,37±0,37
C <sub>T</sub> /N <sub>T</sub>	10,38±1,17	23,00±0,37

**Tabla 3.** Medias y desviaciones típicas del contenido en CT (%), NT (%) y de CT/ NT para las cenizas según orientaciones

una intensidad superior y calcinó completamente la vegetación existente.

## BIBLIOGRAFÍA

- AFIF-KHOURI, E Y OLIVEIRA-PRENDES, J.A.; 2006. Efectos del fuego prescrito sobre el matorral en las propiedades del fuego. *Inv. Agraria; Sist. Rec. For.* 15: 262-270.
- DÍAZ-FIERROS, F.; GIL SOLTRES, F.; CABANEIRO, A.; CABALLAS, T.; LEIROS PENA, M.C. Y VILLAR CELOIRO, M.C.; 1982. Efectos erosivos de los incendios forestales en los suelos de Galicia. *An. Edafol. Agrobiol.* 41: 627- 639.
- DÍAZ-RAVIÑA, M.; ACEA, M.J. & CARBALLAS, T.; 1995. Seasonal changes in microbial biomass and nutrient flush in forest soils. *Biol. Fertil. Soils* 19: 220-226.
- DÍAZ-RAVIÑA, M; PRIETO A. & BÄTH, T.; 1996. Bacterial activity in a forest soil after soil heating and organic amendments measured by thymidine and leucine incorporation techniques. *Soil Biol. Biochem.* 28: 419-426.
- DUMONTET, S.; DINEL, H.; SCOPA, A.; MAZZATURA, A. & SARACINO, A.; 1996. Post-fire soil microbial biomass and nutrient content of a pine forest soil from microbial biomass and nutrient content of a pine forest soil from a dunal Mediterranean environment. *Soil Biol. Biochem.* 28: 1467-1475.
- GARCIA, M.P.; FORTEZA, J. Y LORENZO, L.F.; 1995. *Distribución de suelos en la comarca de Aliste (Zamora)*. Anales de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid.
- GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; ROLDÁN, A. & MARTÍN, A.; 2002. Effects of plant cover decline of Chemicals and microbiological parameters under Mediterranean climate. *Soil Biol. Biochem.* 34: 635-642.
- GIOVANNINI, G.; 1994. The effect of fire on soil quality. In: M. Sala & J.L. Rubio (eds.), *Soil erosion as a consequence of forest fires*: 15-27. Geoforma Ediciones. Logroño.
- 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 (Ávila)*. Tesis doctoral. Dpto. Edafología. Facultad de Farmacia. UCM. Madrid.
- ISERMEYER, H.; 1952. Eine einfache methode zur bestimmung der bodenatmung und der carbonate im boden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 56: 26-38.
- JOERGENSEN, R.G.; 1995. The fumigation incubation method. In: K. Aleff & P. Nannipieri (eds.), *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*: 382-404. Academic Press. London.
- KUTIEL, P & KUTIEL, H.; 1989. Effects of a wild-fire on soil nutrients and vegetation in a Aleppo pine forest, on Mont Carmel, Israel. *Pirineos* 134: 59-74.
- LAL, R. (1997) Degradation and resilience of soils. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 352: 997-1010.
- MATAIX, J.; 1999. *Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración*. Tesis doctoral. Universidad de Alicante. Alicante.
- OLSEN, R.S.; COLE, C.V.; WATANABE, F.S. & DEAN, L.A.; 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular* 939.
- RAISON, R.J.; 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with a particular reference to nitrogen transformations: a review. *Plant Soil*, 51: 73-108.
- ROMANYÁ, J; KHANNA, P.K & RAISON, R.J.; 1994. Effects of slash burning on soil phosphorous fraction and sorption and desorption of phosphorous. *Forest Ecol. Manage.* 65: 89-103.
- SÁNCHEZ, J.R.; MANGAS, V.J.; ORTIZ, C. & BELLOT, J.; 1994. Forest fire effects on soil

- chemical properties and runoff. *In*: M. Sala & J.L. Rubio (eds.), *Soil erosion and degradation as a consequence of forest fires*: 53-65. Geoforma Ediciones. Logroño.
- ÚBEDA, X.; (2001) Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal. *Edafología* 8: 41-49.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S.; 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 19: 703-707.