

# EFFECTOS INMEDIATOS DE LA SEVERIDAD DEL FUEGO SOBRE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UN SUELO DE *Pinus pinaster*

J. A. Vega, M. Alonso, M.T. Fontúrbel, P. Pérez-Gorostiaga, P. Cuiñas y C. Fernández

Centro de Investigaciones Forestales de Lourizán. Consellería de Medio Ambiente. Xunta de Galicia. Lourizán. Apdo. 127. 36080. Pontevedra. [jvega.cifal@siam-cma.org](mailto:jvega.cifal@siam-cma.org)

## Resumen

El grado de afectación del suelo por el fuego durante un incendio puede ser un factor determinante en la regeneración posterior de la vegetación arbórea. Para evaluar el efecto de la severidad del fuego en un conjunto de propiedades edáficas se utilizaron tepes de suelo intactos con su capa de mantillo, recogidos bajo una masa de *P. pinaster* en Pontevedra, que fueron quemados en un túnel de viento, simulando la etapa de rescoldos de un incendio forestal. Para obtener distintos grados de severidad de las quemaduras, los tepes se sometieron a riego controlado con el fin de alcanzar diferentes condiciones de humedad del suelo y mantillo. Inmediatamente después de las quemaduras se observó un decrecimiento en el nivel de carbono orgánico, de la tasa C/N y actividad de la fosfatasa ácida, así como incrementos de P utilizable y Mg cambiante en los primeros 5 cm del suelo mineral en los suelos quemados severamente con relación a los suelos no quemados y, en algunos casos, a los quemados moderadamente. Se encontraron correlaciones significativas entre la mayoría de los parámetros edáficos analizados (P, fosfatasa ácida, Mg, C/N, C) y las características del régimen térmico durante el fuego.

Palabras clave: *efectos edáficos del fuego, régimen térmico, parámetros edafocímicos, fosfatasa ácida.*

## INTRODUCCIÓN

*Pinus pinaster* Ait. es la conífera que ocupa mayor extensión en España, estando frecuentemente afectada por el fuego. Sin embargo, la información del papel que juega el fuego en la dinámica de estos ecosistemas es todavía escasa. El fuego puede afectar a la regeneración de las masas de pino directa o indirectamente, a través de cambios en el contenido de nutrientes en el suelo y variaciones en las condiciones microambientales. Es conocida la capacidad del fuego para modificar las propiedades edáficas y muchos de esos cambios han sido bien documentados; sin embargo, existe poca información acerca de las alteraciones producidas por el fuego en el suelo y su relación con la intensidad, la duración y otras características de la quema. Pérdidas de materia orgánica en el suelo, cambios en el nivel de nutrientes (SERTSU & SÁNCHEZ, 1978; RAISON, 1979; KITUR & FRYE, 1983), aumentos de pH, descensos de enzimas en el suelo, tales como fosfatasas (DEBANO & KLOPATEK, 1988) han sido referidos en relación con las características de la quema en experimentos de laboratorio y también después de incendios o fuegos prescritos (BARÁ & VEGA, 1983; VEGA, 2001).

El objetivo de este estudio fue analizar el efecto inmediato de la severidad de un fuego simulado, conseguida por medio de diferentes niveles de humedad inicial del mantillo y el suelo, en diversos parámetros edáficos.

## MATERIAL Y METODOS

### Lugar de estudio

El estudio se llevó a cabo en tepes procedentes de un bosque de *Pinus pinaster* situado en el monte La Magdalena, municipio de Cangas, en la provincia de Pontevedra. Las características físico-químicas del suelo se muestran en la tabla 1.

### Diseño experimental

Se extrajeron del lugar 40 tepes (bloques de suelo intactos), de 40 x 40 x 10 cm, con su capa de mantillo correspondiente, manteniéndose en lo posible la estructura del suelo. Veinte de éstos se destinaron a quemar y los 20 restantes se utilizaron como control. Para conseguir dos niveles contrastados de severidad del fuego (quemadas severas y quemadas moderadas), se procedió al riego de la mitad de los tepes a quemar obteniéndose una elevada humedad del mantillo y del suelo mineral, mientras que el resto de tepes se expuso a las condiciones meteorológicas del verano lo que produjo una fuerte desecación de ambos estratos. Antes de los ensayos se tomaron muestras de suelo y de la capa de mantillo para determinar su contenido de humedad por secado en estufa a 100 °C hasta peso constante y se recogieron muestras para realizar los análisis químicos en 15 tepes (5 testigos, 5 mantenidos húmedos y 5 mantenidos secos). En cada tepe se dispusieron cuatro clavos con su cabeza a nivel de la superficie del mantillo, que sirvieron para evaluar el grado de consunción de esta capa orgánica. Los fuegos experimentales se llevaron a cabo en el túnel de combustión, añadiendo a todos los tepes la misma carga de combustible, consistente en 5.3 kg/m<sup>2</sup> de hojarasca y 6.3 kg/m<sup>2</sup> de restos leñosos procedentes del lugar de recogida, en condiciones similares de contenido de humedad, justo antes de cada quema. Además, se dispuso de una zona de cebado del fuego con combustible, en las mismas condiciones de humedad y de carga a la dispuesta sobre los tepes, con el fin de iniciar el fuego y que este alcanzase un régimen medianamente uniforme. Para conocer el régimen térmico se situaron nueve termopares tipo K de 1 mm de diámetro conectados a data loggers: tres en la superficie del mantillo en la diagonal del tepe, otros tres, bajo los anteriores, en la superficie del suelo mineral y por último otros tres, también bajo todos los anteriores, a dos centímetros de profundidad en el suelo mineral. Los datos fueron registrados cada 2 segundos. Una vez terminado el experimento se midieron los clavos para conocer el espesor del mantillo consumido. Después de quemar se recogieron muestras de 15 tepes (5 testigos, 5 quemados severamente y 5 quemados de forma moderada) para efectuar los análisis químicos correspondientes.

### **Métodos analíticos**

Para los análisis correspondientes, las muestras de suelo se secaron al aire y se tamizaron a 2 mm. El análisis granulométrico se llevó a cabo por el método de la pipeta (PIPER, 1950). El carbono orgánico se determinó por el método rápido de WALKLEY & BLACK (1934); el nitrógeno por semimicro Kjeldahl, método descrito por BREMNER (1996); Ca, Mg y K cambiables fueron extraídos en acetato amónico 1 N a pH 7 y determinados por absorción atómica (Ca y Mg) y fotometría de llama (K); el P utilizable siguiendo el método Bray-II (BRAY & KURTZ, 1945), el pH se determinó por potenciometría en agua en la proporción suelo-agua (1:2.5) después de una hora de contacto; la determinación de humedad se hizo por secado en estufa a 105 °C hasta peso constante. Los resultados se expresaron referidos a peso seco. La actividad de la fosfatasa ácida fue llevada a cabo según el método de TABATABAI & BREMNER (1969) modificado por TRASAR-CEPEDA *et al.*, (1985). El análisis consideró la medida del *p*-nitrofenol liberado durante 30 minutos de incubación a 37°C con *p*-nitrofenil fosfato (14 mM) como sustrato, tamponado para llevar la mezcla de reacción a pH 5.0. Estas condiciones óptimas fueron determinadas en un test preliminar. La actividad de la fosfatasa ácida fue medida como los µg de *p*-nitrofenol formados en g<sup>-1</sup> peso seco. h<sup>-1</sup>.

### **Análisis estadístico**

El efecto de los tratamientos (quema severa, quema moderada y control) sobre los parámetros edáficos fue analizado con el paquete estadístico SPSS v.11 mediante un análisis de varianza unifactorial antes y después del fuego. Se utilizaron técnicas de regresión para evaluar la correlación entre los parámetros térmicos y otras características de las quemadas (humedad y reducción de espesor del mantillo) y entre los parámetros edáficos y los parámetros térmicos medidos a 2 cm bajo la superficie del suelo.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Características de la quema**

Como era de esperar, los fuegos experimentales severos, efectuados en tepes con muy bajo

contenido de humedad en el mantillo y suelo, produjeron una alta reducción del espesor de la capa de mantillo, mientras que esta reducción fue menor en los fuegos moderados (tabla 2). Las temperaturas medias máximas alcanzadas en todas las posiciones de medida, así como el tiempo con  $T^a > 60$  °C y el área bajo la curva  $T^a$ -tiempo en los tepes quemados severamente fueron significativamente más altas que en los quemados moderadamente (figura 1a, 1b y 1c respectivamente), posiblemente debido al bajo contenido de humedad de los primeros (de hecho fue un objetivo de este estudio). Los altos valores del coeficiente de correlación entre las temperaturas máximas alcanzadas, la duración de las temperaturas letales ( $T^a > 60$  °C) y las áreas bajo la curva  $T^a$ -tiempo con el contenido de humedad, de signo negativo, confirman este hecho (tabla 3). Estos resultados están de acuerdo con los de otros autores que observaron que las temperaturas alcanzadas en la superficie del suelo y del mantillo eran menores cuando el mantillo tenía un contenido de humedad más elevado (DEBANO & KLOPATECK, 1988; VALETTE *et al.*, 1994).

### **Cambios producidos en los parámetros edáficos**

El efecto del fuego sobre el contenido de carbono orgánico en los primeros 5 cm de suelo fue solamente observado en los tepes quemados severamente, donde el % de C fue significativamente menor al del control (Figura 2a); asimismo, el % de C en el suelo estuvo correlacionado negativamente de forma significativa con algunos de los parámetros térmicos (Tabla 4). El contenido de materia orgánica normalmente decrece después del fuego debido a pérdidas por combustión, estando relacionada la magnitud de la pérdida con la intensidad del fuego y la duración de éste. HEYWARD (1938) indicó que la destrucción de materia orgánica en el suelo comienza entre 177 y 204 °C y HOSKING (1938) refirió que temperaturas entre 200 y 300° C implicaban que el 80% de las sustancias orgánicas eran destruidas por destilación. En nuestro experimento, los suelos que sufrieron fuegos severos alcanzaron temperaturas superiores a 200 °C y durante un largo periodo de tiempo, pudiendo contribuir este hecho a la destrucción de la materia orgánica del suelo.

No hemos observado variaciones significativas en el contenido de nitrógeno en el suelo después del fuego. El nitrógeno del suelo es más estable al calor que el carbono, con pérdidas menores que las del carbono hasta 450° C (NISHITA *et al.*, 1970; WHITE *et al.*, 1973; DUNN & DEBANO, 1977; SERTSU & SÁNCHEZ, 1978; KHARE *et al.*, 1982; GIOVANNINI *et al.*, 1988, 1990a, 1990b; SOTO *et al.*, 1991; DIAZ-RAVIÑA *et al.*, 1992). Es posible que esto ocurra porque la mayor parte del nitrógeno en el suelo está formando parte de los ácidos húmicos (SCHNITZER & HOFFMAN, 1964; ALMENDROS *et al.*, 1984, 1990).

Después de los fuegos experimentales, la razón C/N en los primeros 5 cm de suelo disminuyó significativamente tanto en los tepes quemados moderadamente como en los que sufrieron quemaduras severas con relación a los control (Figura 2b) y se encontró una buena correlación de pendiente negativa entre la razón C/N y los parámetros térmicos durante la quema (Tabla 4). Otros autores indicaron disminuciones ligeras de la tasa C/N en relación al calentamiento progresivo del suelo hasta 200°C en experimentos de laboratorio (SERTSU & SÁNCHEZ, 1978; ALMENDROS *et al.*, 1984) aunque también se encontraron aumentos leves (NISHITA *et al.*, 1970; GIOVANNINI *et al.*, 1990a, 1990b; SOTO *et al.*, 1991). En suelos afectados por incendios intensos se han descrito fuertes reducciones de C/N (BARÁ & VEGA, 1983; ALMENDROS *et al.*, 1984).

Los tratamientos afectaron al contenido de fósforo utilizable en los primeros 5 cm de suelo, registrándose un descenso en los tepes quemados moderadamente y un incremento en los tepes que sufrieron quemaduras severas con relación a los control (Figura 2c) y se encontraron altas correlaciones de pendiente positiva con los parámetros térmicos (Tabla 4). En experimentos de laboratorio algunos autores han referido que temperaturas de 200°C producían incrementos de fósforo utilizable en el suelo (HOFFMAN, 1966; WHITE *et al.*, 1973; SERTSU & SÁNCHEZ, 1978; HUMPHREYS & CRAIG, 1981; KITUR & FRY, 1983; GIOVANNINI *et al.*, 1990a; KUTIEL & SHAVIV, 1989, 1992; SAA *et al.*, 1993; SERRASOLSAS & KHANNA, 1995). WHITE *et al.*, (1973) observó que el calentamiento del suelo bajo *P. ponderosa* producía incrementos de fósforo utilizable relacionados con las temperaturas alcanzadas; esto está de acuerdo con los resultados de nuestro experimento, en los cuales se observaron temperaturas superiores a 250°C a 2 cm bajo la superficie del suelo en los tepes que sufrieron quemaduras severas.

Después de los fuegos experimentales, el contenido de Mg cambiante en el suelo fue también superior al del control (Figura 2d) y estuvo correlacionado significativamente y de forma positiva con

los parámetros térmicos (Tabla 4).

Antes de quemar hubo diferencias estadísticamente significativas de la actividad de la fosfatasa entre los tepes asignados a los tres tratamientos, habiendo una alta correlación entre este enzima y la humedad del suelo ( $r^2 = 0.75$ ,  $n = 15$ ). En los tepes destinados a efectuar las quemaduras severas, las moderadas y los control, la humedad del suelo fue de 3.98, 28.56 y 19.92 %, respectivamente. El bajo contenido de humedad y los valores de P utilizable relativamente bajos en los primeros pudieron estar relacionados con la baja actividad observada en la fosfatasa antes de efectuar los tratamientos. La influencia de la humedad del suelo en la actividad de la fosfatasa ha sido documentada por varios autores, así SERRASOLSAS & KHANNA (1995) indicaron que la actividad de la fosfatasa en suelos control estaba correlacionada con la humedad del suelo, no estándolo, sin embargo, con el P total, P orgánico, P lábil o materia orgánica en el suelo. En nuestro experimento, después de quemar, se encontraron descensos significativos en la actividad de la fosfatasa de los tepes quemados moderada o severamente con relación a los control (Figura 2e), observándose correlaciones significativas entre esta actividad y los parámetros térmicos (Tabla 4). Un decrecimiento en la actividad de la fosfatasa fue hallado también por DEBANO & KOPLATEK (1988), quienes refirieron disminuciones significativas de la actividad de este enzima en suelos secos inmediatamente después de quemar y descensos más moderados en suelos húmedos. Estos autores relacionaron la respuesta de la fosfatasa en suelos quemados en condiciones más secas con las temperaturas máximas alcanzadas en el suelo durante la quema. SAÁ et al. (1993) apuntaron reducciones acusadas en la actividad de la fosfatasa tras un incendio cuando la temperatura del suelo había ascendido a 180°C, mientras que la quema controlada no afectaba a esta actividad cuando la temperatura en el suelo era de alrededor de 25°C. También SERRASOLSAS & KHANNA (1995) encontraron que la actividad de la fosfatasa decrecía cuando los suelos eran calentados a temperaturas superiores a 60°C; a 120°C, el decrecimiento estaba entre el 22 y el 50%, pero a 250°C éste era del 90 al 100% de los valores control.

## CONCLUSIONES

Las condiciones de ejecución de los ensayos parecieron reflejar bien la etapa de rescoldo de un incendio de alta severidad.

Altos contenidos de agua del mantillo y suelo atenuaron eficazmente los efectos adversos del calentamiento ya que, en general, las temperaturas máximas fueron más bajas y la penetración del calor fue menor en las quemaduras efectuadas en tepes húmedos.

Los fuegos de alta severidad fueron los que ocasionaron mayores cambios en los parámetros edáficos en relación con el régimen térmico sufrido, observándose una disminución significativa del C, de la tasa C/N y de la actividad de la fosfatasa y una elevación del P utilizable y Mg cambiante.

En contra de lo esperado, el nivel de carbono post-fuego no fue un buen indicador de la severidad del fuego. Sin embargo, los niveles de fósforo utilizable y de la actividad de la fosfatasa inmediatamente después de quemar mostraron las correlaciones más altas con los parámetros de régimen térmico, lo que sugiere su uso como buenos indicadores de la severidad del fuego en el futuro.

## Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, que ha financiado el proyecto INIA SC-99-018-C2, gracias al cual se ha podido realizar este trabajo. A M.T. Cabaleiro y a M.F. Ignacio por el trabajo de laboratorio y a A. Arellano por el trabajo de campo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALMENDROS, G.; POLO, A.; LOBO, M.C. e IBAÑEZ, J.J.; 1984. Contribución al estudio de los incendios forestales en las características de la materia orgánica del suelo. II Transformaciones del humus por ignición en condiciones controladas de laboratorio. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 21(2): 145-160.
- ALMENDROS, G.; GONZALEZ-VILA, F.J. & MARTÍN, F. 1990. Fire induced transformation on

- soil organic matter from an oak forest: an experimental approach to the effects of fire in humic substances. *Soil Sci.* 149: 158-168.
- BARÁ, S. & VEGA, J.A.; 1983. Effects of wildfires on forest soils in the northwest of Spain. DFG Symposium Feuerökologie. Freiburger Waldschutz-Abhandlungen. Freiburg Univ.: 181-195.
- BRAY, B.M. & KURTZ, L.T.; 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- BREMNER, J.M.; 1996. Nitrogen-Total. In: SSSA Book series: 5. Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical Methods. 1085-1185.
- DEBANO, L.F. & KLOPATEK J.M.; 1988. Phosphorus dynamics of pinyon-juniper soils following simulated burning. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 271-277.
- DIAZ-RAVIÑA, M.; PRIETO, A.; ACEA, M.J. y CARBALLAS, T.; 1992. Fumigation-extraction method to estimate microbial biomass in heated soils. *Soil Biol. Biochem.* 24: 259-264.
- DUNN, P.H. & DEBANO, L.F.; 1977. Fire's effects on biological and chemical properties of chaparral soils. In *Symposium of the environmental consequences of fire and fuel management in Mediterranean ecosystems*. 1-5 August 1977. Palo Alto. CA. USA. (H.A. Monney & C.E. Conrad, technical coordinators). U.S. Dep. Agric. For. Serv. Gen. Tech. Rep. WO-3: 75-84.
- GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S. & GIACHETTI, M.; 1988. Effects of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Sci.* 146: 255-261.
- GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S. & GIACHETTI, M.; 1990a. Effects of heating on chemical parameters related to soil fertility and plant growth. *Soil Sci.* 149(6): 344-350.
- GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S. & GIACHETTI, M.; 1990b. Beneficial and detrimental effects of heating of soil quality. In *Fire and ecosystem dynamics*. J.G. Goldammer and M.J. Jenkins (eds). SPB Acad. Publishing bv: 95-102.
- HEYWARD, F.; 1938. Soil temperatures during forest fires in the long leaf pine region. *J. of Forestry* 36: 23-27.
- HOFFMAN, G.R.; 1966. Ecological studies of *Funaria hygrometrica* Hedw. in eastern Washington and northern Idaho. *Ecol. Monogr.* 36: 157-180.
- HOSKING, J.S.; 1938. The ignition at low temperatures of the organic matter in soils. *J. Agr. Sci.* 28: 393-400.
- HUMPHREYS, F.R. & CRAIG, F.G.; 1981. Effects of fire on soil chemical, structural and hydrological properties. In *Fire and the Australian Biota*. A.M. Gill, R.H. Groves & I.R. Noble (eds). Australian Academy of Science. Canberra: 177-200.
- KHARE, D.K.; KHARE, P.K. & MISHRA, G.P.; 1982. Effects of heat on nutrient release for soil under tropical dry deciduous forest. *Jap. J. Ecol.* 32: 107-110.
- KITUR, B.K. & FRYE, W.W.; 1983. Effects of heating on soil chemical properties and growth and nutrient composition of corn and millet. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 47: 91-94.
- KUTIEL, P. & SHAVIV, A.; 1989. Effects of simulated fire on the availability of N and P in Mediterranean soils. *Plant and soil* 120: 57-63.
- KUTIEL, P. & SHAVIV, A.; 1992. Effects of soil type, plant composition and leaching of soil nutrients following a simulated forest fire. *For. Ecol. Manage.* 53: 329-343.
- NISHITA, H.; HAUG, R.M.; HAMILTON, M. & ALEXANDER, G.V.; 1970. Influence of soil heating on the growth and elemental composition of bean plants. *Soil Sci.* 110(1): 61-70.
- PIPER, C.S.; 1950. *Soil and Plant Analysis*. The University of Adelaide. Adelaide
- RAISON, R.J.; 1979. Modification of soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: A review. *Plant and soil* 51: 73-108.
- SAÁ, A.; TRASAR-CEPEDA, M.C.; GIL-SOTRES, F. y CARBALLAS, T.; 1993. Changes in soil phosphorus and acid phosphatase activity immediately following forest fires. *Soil Biol. Biochem.* 25: 1223-1230.
- SCHNITZER, M. & HOFFMAN, T.; 1964. Pyrolysis of soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 520-525.
- SERRASOLSAS, I. & KHANNA, P. K.; 1995. Changes in heated and autoclaved forest soils of S. E. Australia. II. Phosphorus and phosphatase activity. *Biogeochemistry*, 29: 25-41.
- SERTSU, S.M. & SANCHEZ, 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.
- SOTO, B.; BENITO, E. & DIAZ-FIERROS, F.; 1991. Heat-induced degradation processes in forest

soils. *Int. J. Wildland Fire* 1(3): 147-152.

TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M.; 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1: 301-307.

TRASAR-CEPEDA. M.C.; GIL SOTRES, F. y GUTIÁN OJEA, F.; 1985. Determinación de la actividad de la fosfatasa en suelos gallegos. Precisiones al método de Saratchandra y Perrott. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 44: 987-991.

VALETTE, J.C.; GOMENDY, V.; MARECHAL, J.; HOUSSARD, C. & GILLON, D.; 1994. Heat transfer in soil during very low-intensity experimental fires: the role of duff and soil moisture content. *Int. J. Wildland Fire* 4(4): 225-237.

VEGA, J.A. 2001. Efectos del fuego prescrito sobre el suelo en pinares de *Pinus pinaster* Ait. de Galicia. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 711 págs.

WALKLEY, A. & BLACK, I.A.; 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter in a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.

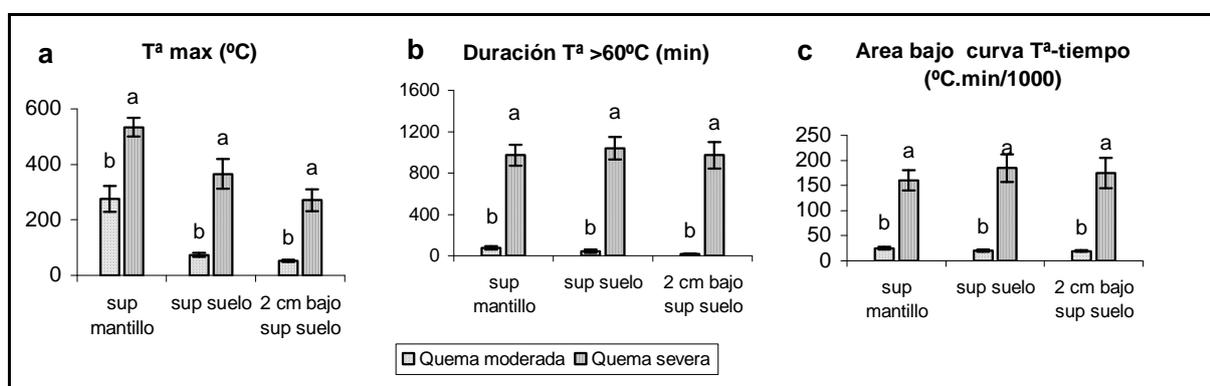
WHITE, E.M.; THOMPSON, W.W. & GARTNER, F.R.; 1973. Heat effects on nutrient release from soils under ponderosa pine. *J. Range Manage.* 26: 22-24.

Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	pH	C orgánico (%)	N total (%)	C/N	P utilizable (ppm)	Ca cambiable (ppm)	Mg cambiable (ppm)	K cambiable (ppm)
83.73	7.85	8.42	4.43 (0.07)	11.14 (0.49)	0.662 (0.031)	17.0 (0.5)	30 (5)	73 (16)	48 (8)	82 (4)

**Tabla 1.** Características físicas y químicas del suelo (0-5 cm) bajo *P. pinaster* del monte La Magdalena (Pontevedra). Valores medios (n=15) y error estándar (entre paréntesis).

Tipo de fuego experimental	% humedad del mantillo	% humedad del suelo	Reducción del espesor del mantillo (en cm)	Reducción del espesor del mantillo (en porcentaje)
Moderado	165.3 (71.8)	44.2 (18.2)	1.0 (0.7)	47.6 (25.7)
Severo	10.9 (3.4)	5.2 (1.5)	3.1 (1.9)	88.4 (18.3)

**Tabla 2.** Contenido medio de humedad del mantillo y el suelo después de la quema y reducción absoluta y relativa del espesor de la capa de humus (n=10), Errores estándar (entre paréntesis).



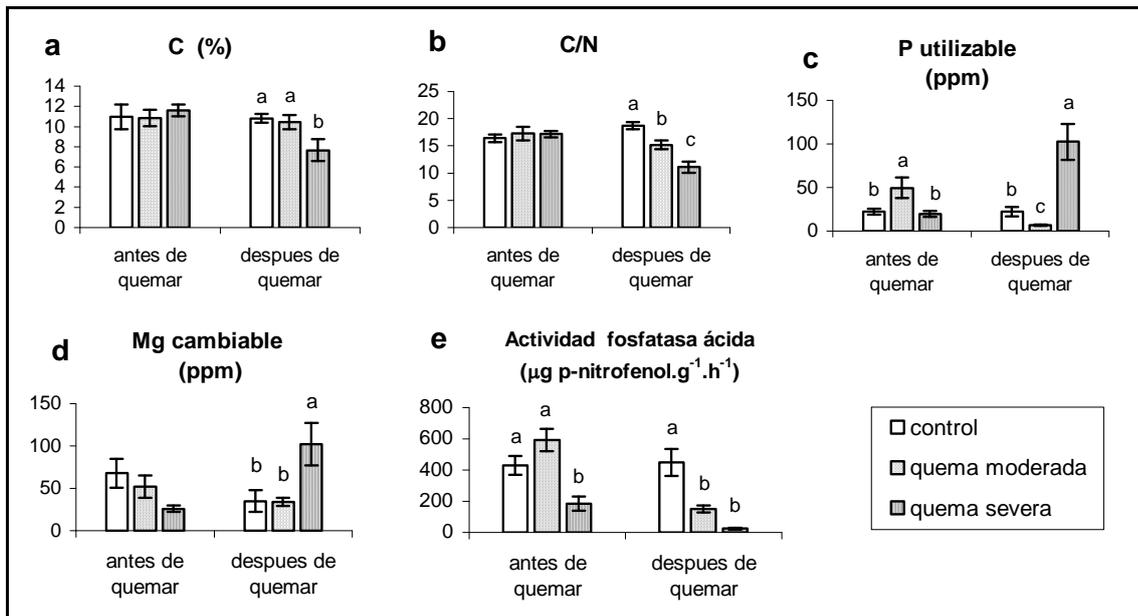
**Figura 1.** Valores medios de: a) temperaturas máximas, b) duración de temperatura > 60°C, y c) área bajo la curva T<sup>a</sup>-tiempo, obtenidos en los fuegos experimentales de los tepes. Barras de error estándar (n=10). En cada posición de medida, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (p < 0.05).

Variable dependiente (y)

Variable independiente (x)

	% humedad mantillo $r^2$ (-)	% humedad suelo $r^2$ (-)
$T^a$ max sup. mantillo	0.536 LOG	0.460 LOG
$T^a$ max sup. suelo	0.807 POT	0.817 POT
$T^a$ max suelo (-2cm)	0.718 POT	0.757 POT
Tiempo $T^a > 60^\circ\text{C}$ sup. mantillo	0.782 POT	0.840 LOG
Tiempo $T^a > 60^\circ\text{C}$ sup. suelo	0.785 LOG	0.851 LOG
Tiempo $T^a > 60^\circ\text{C}$ suelo (-2cm)	0.718 LOG	0.806 LOG
Area $T^a$ -tiempo sup. mantillo	0.771 POT	0.847 POT
Area $T^a$ -tiempo sup. suelo	0.818 POT	0.910 POT
Area $T^a$ -tiempo suelo (-2cm)	0.805 POT	0.889 POT

**Tabla 3.** Valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) significativos ( $p < 0.05$ ) ( $n = 10$ ) entre los parámetros térmicos durante las quemas experimentales de los tepes y la humedad inicial de éstos. Ajuste logarítmico (LOG), potencial (POT). (-) indica que la correlación es de signo negativo.



**Figura 2.** Valores medios de los parámetros edáficos determinados en los primeros 5 cm de suelo, antes y después de la quema. a) % carbono orgánico, b) razón carbono / nitrógeno, c) fósforo utilizable, d) magnesio cambiante y e) actividad de la fosfatasa ácida. Barras de error estándar ( $n = 5$ ). Dentro de cada posición de medida letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de quema ( $p < 0.05$ ).

Variable independiente (x)	Variable dependiente (y)				
	%C $r^2$ (-)	C/N $r^2$ (-)	P utilizable $r^2$ (+)	Mg cambiante $r^2$ (+)	Act. fosfatasa $r^2$ (-)
$T^a$ máxima suelo (-2cm)		0.609 LIN	0.937 EXP	0.625 EXP	0.944 POT
Tiempo $T^a > 60^\circ\text{C}$ suelo (-2cm)	0.403 LIN	0.634 EXP	0.934 EXP	0.694 EXP	0.918 EXP
Area $T^a$ -tiempo suelo (-2cm)	0.467 LIN	0.664 LIN	0.950 EXP	0.733 EXP	0.856 POT

**Tabla 4.** Valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) significativos ( $p < 0.05$ ) ( $n = 10$ ) entre los parámetros térmicos durante las quemas experimentales de los tepes y los parámetros edáficos en el suelo (0-5 cm) después de quemar. Ajuste lineal (LIN), logarítmico (LOG), potencial (POT), exponencial (EXP). (-) y (+) indican que la correlación es de signo negativo o positivo, respectivamente.