

# TEMPERATURAS DE QUEMA Y PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA CENTRAL

ESTELA HEPPER<sup>1</sup>; ANA URIOSTE<sup>1</sup>; VALERIA BELMONTE<sup>1</sup> & DANIEL BUSCHIAZZO<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Fac.de Agronomía, UNLPam, CC 300, 6300 Santa Rosa, <sup>2</sup> INTA Anguil; <sup>3</sup> CONICET  
E-mail: hepper@agro.unlpam.edu.ar

Recibido: 22/12/07

Aceptado: 10/04/08

## RESUMEN

Los fuegos controlados y naturales son frecuentes en el Caldenal, en la Región Semiárida Pampeana Central, y sus efectos sobre propiedades físicas y químicas de los suelos son poco conocidos. El objetivo de este trabajo fue detectar las temperaturas de quema que producen cambios en algunas propiedades físicas y químicas del suelo en el Caldenal. Dos Haplustoles énticos, uno franco arenoso y otro franco fueron calentados durante 5 minutos a 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C y 600 °C. Sobre las muestras de suelo sin tratar y las sometidas a las diferentes temperaturas se determinó pH en agua, textura, carbono orgánico, nitrógeno total, cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico. Las temperaturas de quema a las que se produjeron mayores modificaciones fueron 500 °C y 600 °C, detectándose disminuciones del contenido de carbono orgánico, nitrógeno total, de la relación de ambos, de la capacidad de intercambio catiónico y la transformación del suelo franco en franco arenoso y del franco arenoso en arenoso franco. Los contenidos de potasio y sodio intercambiables aumentaron a partir de 300 °C y 400 °C según el suelo, mientras que en ambos el contenido de magnesio disminuyó a partir de 400 °C y el de calcio no fue afectado a ninguna temperatura. A menores temperaturas, 200 °C y 300 °C, sólo se afectaron las proporciones de las fracciones de arena. Como consecuencia de una quema a altas temperaturas disminuirá la capacidad de retención de agua y de nutrientes de estos suelos, con la consecuente pérdida de fertilidad.

**Palabras clave.** Temperatura del suelo, carbono orgánico, nitrógeno total, textura, capacidad de intercambio catiónico.

## IMPACT OF DIFFERENT BURNING TEMPERATURES ON THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF CENTRAL SEMIARID PAMPA SOILS

### ABSTRACT

The natural and controlled burns are very frequent in the Caldenal area, located in the Central Semi-arid Pampean Region, and the effects they produce on the physical and chemical properties of the soils are not well-known. The aim of this study was to find out the burning temperatures that produce changes in soil physical and chemical properties in the Caldenal area. Two Entic Haplustolls (loam and sandy loam), were heated during 5 minutes at 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C and 600 °C. Ph in water, texture, organic carbon, total nitrogen, exchangeable cations and cation exchange capacity were determined on soil samples that received heat and on untreated controls. The 500 and 600 °C burning temperatures produced more changes, decreasing the organic carbon contents, total nitrogen, the OC/Nt ratio, the cation exchange capacity and causing the transformation of the loam soil into sandy loam and of the sandy loam into loamy sand soil. The exchangeable potassium and sodium contents increased with burning temperatures of 300 °C and 400 °C and greater, depending on the soil, but in both of them the magnesium content decreased from 400 °C and greater, and the calcium content was not affected by high temperatures. At lower temperatures, such as 200 °C and 300 °C, only the proportions of sand fractions changed.

As a consequence of burning with high temperatures, the water and nutrient retention capacity of the Caldenal area soils will decrease, concomitantly with the fertility.

**Key words.** Soil temperature, organic carbon, total nitrogen, texture, cation exchange capacity.

## INTRODUCCIÓN

El fuego está presente naturalmente en la mayoría de los ecosistemas modelando su estructura y permitiendo mantener su diversidad y estabilidad (Wright & Bailey, 1982). El Caldenal es una formación boscosa que se en-

cuentra en la Región Central Semiárida de la Argentina, en este área son frecuentes los fuegos ya sea en ocurrencias naturales o en quemadas controladas por el hombre y es poco conocido su efecto sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos.

Estudios realizados en diferentes ecosistemas del mundo demuestran que el efecto del fuego sobre el suelo es variable, dependiendo de su severidad, de la calidad y grado de incorporación de las cenizas, y de la frecuencia de quemas. Entre las modificaciones químicas se mencionan cambios en los contenidos de nutrientes esenciales para la sustentabilidad a largo plazo de la producción forestal. Smith *et al.* (2001) indican incrementos en la concentración de fósforo total y de calcio total debido a una reducción física de las capas superficiales del suelo, mientras que atribuyen la disminución de nitrógeno total y carbono total a la volatilización de los mismos. Arocena & Opio (2003) encontraron aumentos de pH y de calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables, mientras que no detectaron cambios en el contenido de nitrógeno total y disponible. Las pérdidas de nutrientes en suelos afectados por el fuego podrían deberse a volatilización, lavado, arrastre de las cenizas por corrientes de convección durante la quema o por erosión eólica posterior a las mismas (Giardina *et al.*, 2000); mientras que el enriquecimiento se puede atribuir a la mineralización de la materia orgánica del suelo y de la ceniza dejada por la biomasa aérea (Albanesi & Anriquez, 2003). Entre los cambios físicos se han reportado disminución de la fracción arcilla (Hubbert *et al.*, 2006) lo que sumado a disminuciones en el contenido de compuestos orgánicos puede afectar la microagregación y conducir a la degradación de la microestructura del suelo (Andreu *et al.*, 2001). Ketterings *et al.* (2000), en experiencias a campo, encontraron un drástico aumento del contenido de arena, disminución de limo y principalmente de arcilla, cuando el suelo fue expuesto a temperaturas extremas (mayores a 600 °C) y a bajas temperaturas encontraron un aumento de la fracción arena en los primeros 5 cm del perfil. En suelos de la Región Semiárida Pampeana Argentina que han recibido aportes de ceniza volcánica, predominan los minerales amorfos y esmectitas. En estos suelos, la capacidad de intercambio catiónico aumenta principalmente con el contenido de la fracción arcilla (Hepper *et al.*, 2006) por lo que la quema del suelo a altas temperaturas, al ocasionar disminuciones de la fracción arcilla, podría disminuir la capacidad de intercambio catiónico y, en consecuencia, afectar la fertilidad de los suelos. Asimismo Buschiazzi *et al.* (1991) encontraron que suelos de esta región con altos contenidos de fracciones arcilla y limo tienen asociados altos contenidos de materia orgánica, atribuible a la formación de complejos organominerales. La pérdida de materia orgánica por efecto del fuego podría destruir estos complejos, lo que produciría efectos no deseados sobre el suelo, como la disminución de la estabilidad estructural, parámetro directamente relacionado con la susceptibilidad a erosionarse.

Debido a la multiplicidad de factores que pueden afectar a las propiedades del suelo sometido a una quema, la interpretación de los efectos producidos a campo es difícil si no se tiene conocimiento de cada uno individualmente, por ello en este trabajo se pretende estudiar el impacto térmico dado por las temperaturas máximas que podría alcanzar un suelo durante un determinado tiempo de exposición a dichas temperaturas. Las temperaturas máximas cuando se queman combustibles finos no superan los 100 a 200 °C en la superficie del suelo, mientras que para combustibles gruesos, las temperaturas pueden superar los 1.000 °C (Kunst & Bravo, 2003). En quemas experimentales en el Caldenal, Peláez (1995) registró temperaturas máximas entre 500-600 °C cuando la paja fue el combustible fino predominante, mientras que Bóo *et al.* (1996) detectaron que el tiempo de permanencia a altas temperaturas fue de pocos minutos. La combinación de temperatura máxima y tiempo de exposición producirán un impacto térmico sobre el suelo que además dependerá del contenido de humedad del mismo y de factores intrínsecos como la textura, los que condicionan la transmisión del calor en el cuerpo del suelo.

Se planteó como objetivo de este trabajo detectar qué temperaturas de quema producirán cambios en la textura y en la capacidad de intercambio catiónico, así como en los contenidos de cationes intercambiables, carbono orgánico y nitrógeno total en suelos de la Región Semiárida Pampeana Central.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se muestrearon dos suelos en dos sitios del ecosistema del Caldenal, clasificados como Haplustoles énticos: un suelo franco (36° 15' lat. S y 65° 1' long. O) y otro franco arenoso (36° 35' lat. S y 64° 49' long. O). En ambos sitios de muestreo la especie vegetal dominante era *Stipa ichu*, con presencia de caldén (*Prosopis caldenia*) y piquillín (*Condalia microphylla*).

En cada sitio se tomaron 5 muestras de suelo al azar de los primeros 5 cm del perfil en un área de 100 m<sup>2</sup>. Una masa de 100 g de cada muestra, seca al aire y tamizada por 2 mm, se colocó en una cápsula de porcelana de 10 cm de diámetro y la altura de suelo fue de 2,5 cm. Se calentó a 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C y 600 °C en mufla, manteniendo durante 5 minutos la temperatura máxima.

Sobre las muestras de suelo sin tratar (testigo) y las sometidas a diferentes temperaturas se determinó pH en agua (relación 1:2,5) por potenciometría, granulometría por el método de la pipeta de Robinson (Schlichting *et al.*, 1995) y tamizado en húmedo luego de destruir materia orgánica con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y sin dispersar la muestra, separándose las siguientes fracciones: arcilla (<2 µm), limo (2-50 µm), arena muy fina II (50-74 µm), arena muy fina I (74-100 µm), arena fina (100-250 µm), arena media (250-500 µm) y arena gruesa

(500-2.000  $\mu\text{m}$ ). Se determinó carbono orgánico (CO) por el método de oxidación húmeda de Walkley & Black (1934), nitrógeno total (Nt) por Kjeldahl semimicro (Bremner & Mulvaney, 1982), cationes intercambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ ) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) por extracción con solución de acetato de amonio  $1 \text{ mol dm}^{-3}$  a pH 7,2 y posterior determinación de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en el extracto por absorción atómica y  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$  por fotometría de llama.

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa InfoStat/Profesional versión 2007 (Universidad Nacional de Córdoba Estadística y Biometría F.C.A., 2007). El efecto de la temperatura sobre los contenidos de Nt, CO y pH se analizó por medio

del test no paramétrico de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952) debido al no cumplimiento de los supuestos del ANVA. Para comparar el testigo y cada temperatura de calcinación se utilizaron contrastes no paramétricos. Las demás variables edáficas estudiadas se analizaron por ANVA y el test DGC (Di Rienzo *et al.*, 2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan los contenidos iniciales de Nt y de CO y la relación CO/Nt en ambos suelos, esta relación presentó valores dentro del rango promedio para

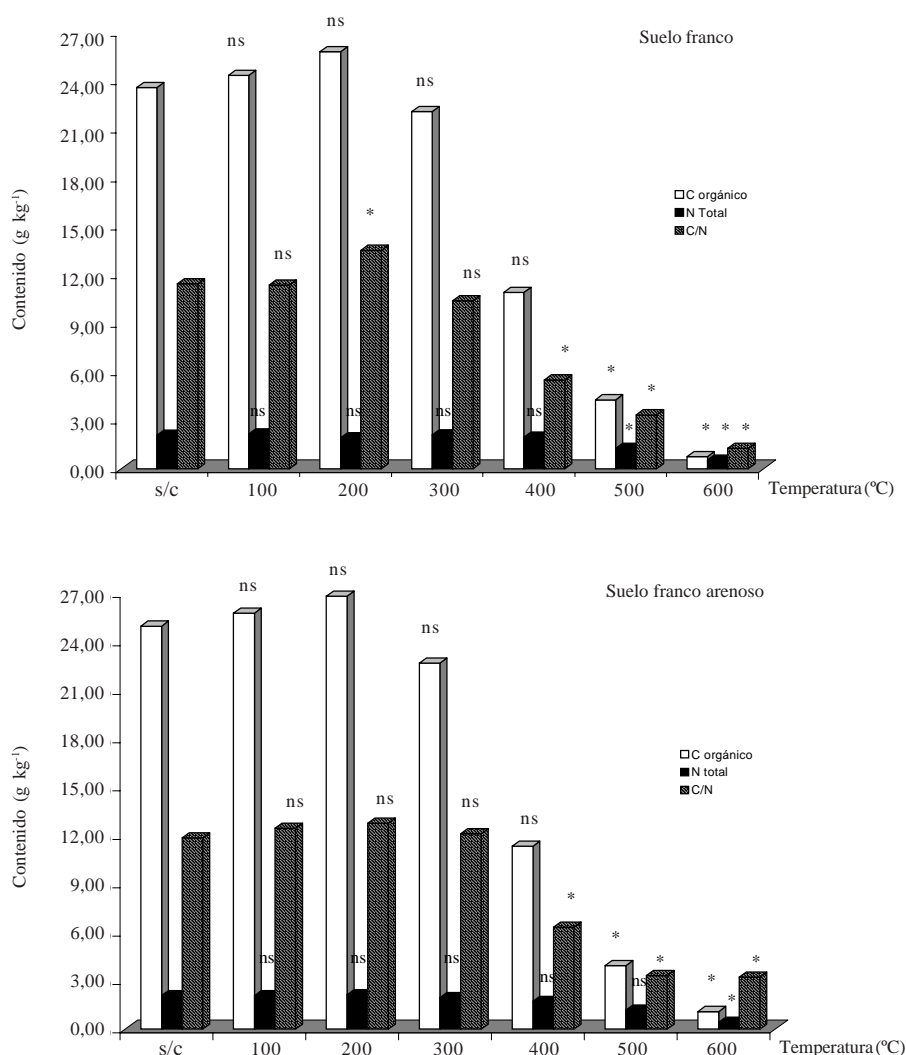


Figura 1. Cambios en los contenidos de carbono orgánico (CO), nitrógeno total (Nt) y en la relación CO/Nt de los suelos en función de la temperatura a la que fueron calentados durante 5 min. En cada uno de los suelos, para una misma variable, “\*” indica diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre la media de rango de Kruskal - Wallis del testigo (S/C) y cada una de las restantes.

Figure 1. Changes in the organic carbon contents (CO), total nitrogen (Nt) and the CO/Nt ratio corresponding to each 5-min temperature treatment. In every soil, within the same variable, “\*” shows significant differences ( $p < 0.05$ ) between the Kruskal-Wallis test average ranks and the untreated soil for each temperature.

suelos de la Región Semiárida Pampeana (Álvarez & Steinbach, 2006). Los contenidos de CO en ambos suelos y de Nt en el suelo franco disminuyeron significativamente ( $p < 0,05$ ) a partir de la exposición a 500 °C mientras que el contenido de Nt del suelo franco arenoso presentó una reducción a 600 °C. Las pérdidas en los contenidos de CO y Nt se producirían por combustión de la materia orgánica del suelo y volatilización de los compuestos nitrogenados (Smith *et al.*, 2001). Por otra parte la disminución de la relación CO/Nt a partir de la exposición de ambos suelos a 400 °C, indica que las pérdidas de CO fueron mayores que las de Nt. A altas temperaturas la materia orgánica presenta mayor grado de descomposición aumentando las formas de nitrógeno orgánico no hidrolizables y por lo tanto menos mineralizable (Walker *et al.*, 1986). La energía calórica que se libera durante la quema del suelo ejerce un efecto similar al de la degradación biológica de la materia orgánica, la diferencia radica en la velocidad de dichos procesos (García Oliva *et al.*, 1999). En el suelo franco se produjo un aumento estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ) de la relación CO/Nt a 200 °C aunque no se detectan cambios en los contenidos de CO y Nt, esto indicaría que a esa temperatura se producirían pérdidas de compuestos nitrogenados por volatilización no así de compuestos carbonados.

Ambos suelos difieren texturalmente debido principalmente al contenido mayor de limo y menor de las fracciones arena muy fina I y muy fina II del suelo franco. En la Tabla 1 se puede observar que en el suelo más fino se

produjeron disminuciones de arcilla y limo, y aumentos de las fracciones arena fina, media y gruesa a partir de los 500 °C que lo transformaron en franco arenoso. Estas altas temperaturas producirían la descomposición térmica de las arcillas predominantes en estos suelos, liberándose compuestos amorfos de silicio y aluminio que actuarían como cementantes de partículas, aumentando las fracciones de arena (Ulery & Graham, 1993). La menor temperatura a la que se detectan cambios en las fracciones granulométricas es 300 °C. A esa temperatura disminuyó la proporción de arena muy fina II aumentando simultáneamente la de arena muy fina I y arcilla. En el suelo franco arenoso disminuyó la proporción de arena muy fina II y de arena gruesa a partir de 200 °C, aumentando la proporción de arena muy fina I y media. La disminución de arena gruesa puede ser atribuida a la ruptura de los feldspatos por acción del calor (Arocena & Opio, 2003) formándose partículas del tamaño menor como lo evidencia el aumento, a la misma temperatura, de la arena media. La fracción arcilla disminuyó a partir de 400 °C, mientras que el limo fue la fracción más estable térmicamente. Los cambios producidos en la proporción de fracciones granulométricas en el suelo franco arenoso a partir de la exposición a 500 °C determinan que sea clasificado como arenoso franco.

El suelo franco arenoso parece ser más sensible a la exposición al calor, ya que ocurren cambios, en particular en sus fracciones arena, a partir de los 200 °C. En los dos suelos las fracciones arena muy fina I y II presenta-

Tabla 1. Efecto del calor sobre la distribución granulométrica de los suelos estudiados. Los datos son promedios de 5 repeticiones. Table 1. Heat effects on the particle size distribution of the studied soils. Mean values of five samples per treatment.

Suelo	Tratamiento	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina I	Arena muy fina II	Limo 50 µm	Arcilla < de 2 µm
		%						
Franco	testigo	1,2	2,6	21,0	8,7	11,5	43,3	11,1
	200 °C	1,2 ns	2,2 ns	22,5 ns	8,7 ns	12,0 ns	39,9 ns	13,4 ns
	300 °C	1,0 ns	2,1 ns	22,6 ns	10,2 *	8,9 *	38,4 ns	16,0 *
	400 °C	0,9 ns	1,9 ns	22,5 ns	10,7 *	9,1 *	44,0 ns	10,8 ns
	500 °C	5,4 *	9,7 *	27,2 *	12,8 *	9,6 *	34,1 *	1,2 *
	600 °C	8,3 *	10,2 *	27,2 *	8,0 ns	12,9 ns	32,6 *	1,0 *
Franco arenoso	testigo	3,3	0,7	24,3	20,1	16,2	24,7	10,8
	200 °C	2,9 *	1,3 *	33,5 ns	23,1 *	8,3 *	22,4 ns	10,9 ns
	300 °C	3,0 *	1,5 *	25,7 ns	27,3 *	10,8 *	23,0 ns	8,8 ns
	400 °C	2,9 *	1,1 *	25,3 ns	26,9 *	12,0 *	24,8 ns	6,5 *
	500 °C	3,4 ns	1,6 *	30,5 ns	25,5 *	12,5 *	24,4 ns	1,8 *
	600 °C	3,5 ns	1,9 *	31,5 ns	20,5 *	16,6 ns	22,5 ns	1,3 *

En cada uno de los suelos, para una misma fracción textural, “\*” indica diferencias significativas entre el testigo y cada una de las temperaturas ( $p < 0,05$ ). In each soil with the same textural class, “\*” denotes significant differences between the untreated soil and each temperature ( $p < 0,05$ ).

ron la mayor dinámica, debido a que recibieron el aporte de fracciones menores a la vez que el calor produjo diseminación de la arena muy fina II por cementación.

El suelo franco presentó mayor contenido de cationes intercambiables y de CIC (Tabla 2). La CIC disminuyó significativamente ( $p < 0,05$ ) en el suelo franco arenoso a partir de 400 °C, coincidentemente con las disminuciones de la fracción arcilla, y a partir de 500 °C en el suelo franco, coincidiendo con las disminuciones de limo y arcilla. La disminución de la CIC se asocia en ambos suelos a las disminuciones de las fracciones texturales más finas, particularmente limo y arcilla, las cuales aportan la mayor cantidad de sitios de intercambio en estos suelos (Hepper *et al.*, 2006).

La suma de bases intercambiables no presentó variaciones con la temperatura, pero sí la proporción de cationes (Tabla 2). Los contenidos de  $K^+$  y los de  $Na^+$ , aumentaron a partir de los 300 °C en el suelo franco arenoso y de los 400 °C en el franco. Este cambio podría ser producto de la destrucción térmica de feldespatos de  $Na^+$ , los menos estables entre los feldespatos (Huang, 1977). El aumento en el contenido de estos cationes fue acompañado por aumentos significativos de pH a partir de 500 °C en ambos suelos. Los contenidos de  $Mg^{2+}$  disminuyeron significativamente a partir de los 400 °C en ambos suelos y los de  $Ca^{2+}$  no fueron afectados por el calor. Estos resultados coinciden con los de Sertu & Sánchez (1978) quie-

nes atribuyeron las disminuciones de magnesio de un Ultisol a la formación de carbonato y óxidos de este elemento. De estos resultados se puede observar en general que el efecto del calor sobre los cationes intercambiables fue independiente de los contenidos iniciales y de la composición textural del suelo.

## CONCLUSIONES

El calor desarrollado durante una quema prescripta no produciría modificaciones en los contenidos de nutrientes del suelo mineral, siempre que se realicen en condiciones que impidan el desarrollo de temperaturas de 400 °C o superiores en la superficie del suelo. Cuando la temperatura de quema alcanza 400 °C aumenta el contenido de sodio y de potasio y disminuye el de magnesio intercambiable. Asimismo, la exposición de estos suelos a temperaturas de 500 °C o superiores produce disminuciones drásticas de la capacidad de intercambio catiónico, asociadas a las disminuciones en la proporción de arcilla y materia orgánica, y en consecuencia disminuirá la capacidad de retención de agua y de nutrientes, los que serán más susceptibles de ser lavados de la capa superficial después de una quema con la consecuente pérdida de fertilidad de estos suelos.

Tabla 2. Cationes intercambiables, capacidad de intercambio catiónico y pH en  $H_2O$  de dos suelos calentados 5 min a diferentes temperaturas.

Table 2. Exchangeable cations, cation exchange capacity and pH in  $H_2O$  of two soils heated during 5 min at different temperatures.

Suelo	Tratamiento	$Na^+$	$K^+$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	CIC	pH
		cmol $kg^{-1}$					
Franco	testigo	0,25	1,87	15,28	2,72	19,76	6,89
	100 °C	0,26 ns	1,86 ns	14,72 ns	2,45 ns	21,20 ns	6,94 ns
	200 °C	0,28 ns	1,86 ns	17,29 ns	2,54 ns	20,40 ns	6,81 ns
	300 °C	0,32 ns	1,98 ns	16,76 ns	2,45 ns	20,16 ns	6,13 ns
	400 °C	0,82 *	2,40 *	16,00 ns	1,98 *	19,04 ns	7,34 ns
	500 °C	1,07 *	2,70 *	12,40 ns	1,41 *	17,04 *	8,21 *
	600 °C	1,40 *	2,34 *	9,92 ns	1,42 *	10,16 *	8,32 *
Franco arenoso	testigo	0,19	0,96	9,16	2,19	18,72	5,68
	100 °C	0,19 ns	0,95 ns	7,95 ns	1,87 ns	19,28 ns	5,71 ns
	200 °C	0,22 ns	1,06 ns	7,84 ns	2,01 ns	19,44 ns	5,65 ns
	300 °C	0,29 *	1,24 *	7,61 ns	1,96 ns	18,56 ns	5,28 ns
	400 °C	0,68 *	1,37 *	6,66 ns	1,43 *	16,08 *	6,65 ns
	500 °C	1,12 *	1,53 *	5,67 ns	1,14 *	10,40 *	7,48 *
	600 °C	1,25 *	1,38 *	4,25 ns	1,16 *	9,12 *	7,85 *

Los datos son promedios de 5 repeticiones. En cada uno de los suelos, para una misma variable, “\*” indica diferencias significativas entre el testigo y cada una de las temperaturas ( $p < 0,05$ ).

Mean values of five samples per treatment are shown. In each soil with the same textural class, “\*” denotes significant differences between the untreated soil and each temperature ( $p < 0,05$ ).



La exposición de estos suelos a temperaturas de 200 °C y 300 °C sólo afectará las proporciones de las fracciones de arena especialmente en el suelo franco arenoso; mientras que a 500 °C se producirá la transformación del suelo franco en franco arenoso y del franco arenoso en arenoso franco. Debido a la fragilidad de estos suelos de clima semiárido, los cambios texturales pueden tener consecuencias a largo plazo sobre la fertilidad física de los mismos.

#### AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa (Proyecto N° I-35/04) por la financiación de este estudio.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Albanesi, A & A Enriquez. 2003. El fuego y el suelo. Cap. 5. Pp 47-59. *En: C Kunst; S Bravo & JL Panigatti (eds.) Fuego en los ecosistemas argentinos.* Editorial INTA, Santiago del Estero, Argentina.
- Andreu, V; AC Imeson & JL Rubio. 2001. Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest. *Catena* 44: 69-84.
- Álvarez, R & HS Steinbach. 2006. Valor agronómico de la materia orgánica. Cap. 2. Pp.13-29. *En: Materia Orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos.* Editorial Fac. de Agronomía UBA.
- Arocena JM & C Opio. 2003. Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. *Geoderma* 113: 1-16.
- Boó, R; D Peláez; S Bunting; O Elía & M Mayor. 1996. Effect of fire on grasses in central semi-arid Argentina. *Journal of Arid Environments* 32: 259-269.
- Bremner, JM & CS Mulvaney. 1982. Nitrogen total. Pp.595-624. *In: AL Page et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties.* 2da edn. Agron. Monog 9. Am. Soc. Agronomy Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, EEUU.
- Buschiazzo, DE; A Quiroga & K Stahr. 1991. Patterns of organic matter distribution in soils of the Semiarid Argentinean Pampas. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154: 437-441.
- Di Rienzo, JA; AW Guzmán & F Casanoves. 2002. A Multiple Comparisons Method based on the Distribution of the Root Node Distance of a Binary Tree. *Journal of Agricultural, Biological, and Environment Statistics* 7(2): 1-14.
- García-Oliva, F; R Sanford & E Kelly. 1999. Effects of flash and burn management on soil aggregate organic C and N in a tropical deciduous forest. *Geoderma* 88: 1-12.
- Giardina, CP; RL Sanford (Jr.) & IC Døckersmith. 2000. Changes in soil phosphorus and nitrogen during slash and burn clearing of a dry tropical forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 399-405.
- Hepper, EN; DE Buschiazzo; GG Hevia; AM Urioste & LE Antón. 2006. Cations exchange capacity and specific surface area of soils with different clay mineralogy. *Geoderma* 135: 216-223.
- Huang, FM. 1977. Feldspars, Olivines, Piroxenes and Amphiboles. *In: Minerals in Soil Environments.* Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA. 553-595.
- Hubbert, KR; HK Preisler; PM Wohlgenuth; RC Graham & MG Narog. 2006. Prescribed burning effects on soil physical properties and soil water repellency in a steep chaparral watershed, southern California, USA. *Geoderma* 130: 284-298.
- Ketterings, QM; JMBigham & VLaperche. 2000. Changes in soil mineralogy and texture caused by slash-and-burn fires in Sumatra, Indonesia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1108-1117.
- Kunst C & S Bravo. 2003. Fuego, calor y temperatura. Cap. 4. Pp 39-45. *En: C Kunst; S Bravo & JL Panigatti (eds.) Fuego en los ecosistemas argentinos.* Editorial INTA, Santiago del Estero, Argentina.
- Kruskal, WH & WA Wallis. 1952. Use of ranas on one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47: 583-621.
- Peláez, D. 1995. Empleo y efecto del fuego en los pastizales, Pp. 23-32. *En: Actas Jornadas de Cría en Campos de Monte.* I.D.E.V.I.-INTA-Cambio Rural.
- Sertu, SM & PA Sanchez. 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.
- Schlichting, E; HP Blume & K Stahr. 1995. *Bodenkundliches Praktikum.* Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin. 295 pp.
- Smith, SM; S Newman; PB Garrett & JA Leeds. 2001. Differential effects of surface and peat fire on soil constituents in a degraded wetland of the Northern Florida Everglades. *Journal of Environmental Quality* 30: 1998-2005.
- Ulery, AL & RC Graham. 1993. Forest fire effects on soil color and texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 135-140.
- Walker, J; R Raison & P Khanna. 1986. Fire. Pp.185-216. *In: Ressel, Isbell (eds.) Australian Soils. The human impact.* University of Queensland Press. St. Lucia.
- Walkley, A & IA Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Wright, HA & A Bailey. 1982. *Fire Ecology in the United State and southern Canada.* John Wiley and Sons, New York.