

FRACCIONES DE FÓSFORO EN SUELOS DEL CALDENAL PAMPEANO EXPUESTOS A DISTINTAS TEMPERATURAS DE QUEMA

ANA MARÍA URIOSTE¹; ESTELA NOEMÍ HEPPER¹; VALERIA BELMONTE¹
& DANIEL EDUARDO BUSCHIAZZO^{1,2,3}

¹Facultad de Agronomía, UNLPam, Ruta 35 km 334, Santa Rosa (6300), La Pampa; ²INTA Anguil;
³INCITAP (UNLPam-CONICET); Autor para correspondencia: urioste@agro.unlpam.edu.ar

Recibido: 13-04-09

Aceptado: 08-10-09

RESUMEN

En el Área del Caldenal donde la ganadería es una de las principales actividades productivas se utiliza el fuego para aumentar la producción de pasturas, sin embargo existen pocos antecedentes de los efectos de las quemaduras controladas sobre el contenido de las fracciones de fósforo del suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de temperaturas de quema sobre fracciones orgánicas e inorgánicas de fósforo en un suelo franco arenoso y otro franco. Se tomaron muestras de los primeros 5 cm de cada uno de los suelos sin la cobertura vegetal, que fueron calentadas a 100, 200, 300, 400, 500 y 600 °C dejando una muestra sin calcinar como testigo. A cada muestra se le determinó el contenido de P por extracción secuencial con los siguientes extractantes: carbonato ácido de sodio (Pi-HCO₃), hidróxido de sodio (Pi-NaOH y Po-NaOH), ácido clorhídrico (Pi-HCl) y ácido sulfúrico (P-H₂SO₄). En general, el efecto de la temperatura de quema sobre los contenidos de las fracciones analizadas fue similar en ambos suelos. Por efecto del calentamiento a temperaturas de 300 °C y superiores en ambos suelos, en general, aumentaron los contenidos de Pi-HCO₃ y de Pi-NaOH mientras que disminuyeron los contenidos de P-H₂SO₄ como así también de la fracción Po-NaOH, atribuible a la descomposición de la materia orgánica a esas temperaturas con el consecuente aumento de las formas disponibles de fósforo inorgánico. Cuando los suelos fueron calentados a 300 °C, en el suelo franco arenoso se registraron aumentos de los contenidos de Pi-HCl y en el suelo franco disminuciones de dicha fracción. Al calentar ambos suelos a 600 °C se registraron aumentos de Pi-HCl los que estuvieron en relación con los aumentos de pH. Esto indica que disminuyó la solubilidad de los fosfatos de calcio predominantes en estos suelos. Quemaduras en las que la temperatura desarrollada en el suelo sea menor a los 300 °C no producirán cambios en los contenidos de las fracciones de fósforo. Sólo en el suelo franco el calentamiento a 300 °C produjo una disminución neta de P posiblemente debido a la volatilización de compuestos orgánicos.

Palabras clave. Temperaturas del suelo, fracciones inorgánicas y orgánicas de fósforo, suelos del caldenal.

PHOSPHORUS FRACTIONS IN SOILS OF THE PAMPEAN CALDENAL EXPOSED TO DIFFERENT BURN TEMPERATURES

ABSTRACT

Cattle production is one of the main productive activities in the Caldenal area of La Pampa Province, and burning is used to increase forage production. However, there are very few reports in the literature on the effect of controlled burning on soil phosphorus fraction content. The aim of this work was to analyze the effect of burn temperatures on organic and inorganic phosphorus fractions of a sandy loam and a loam soil. Superficial soil samples (0-5 cm) without plant cover were air dried and heated at 100, 200, 300, 400, 500 and 600 °C, and a non-heated sample was left as control. In every sample, the P content was determined by a sequential extraction procedure using the following extractants: sodium bicarbonate (Pi-HCO₃), sodium hydroxide (Pi-NaOH and Po-NaOH) chlorhydric acid (Pi-HCl) and sulfuric acid (P-H₂SO₄). In general, the effect of burn temperature on the analyzed fraction's content was similar in both soils. In general, heating at 300 °C or higher temperatures increased Pi-HCO₃ and Pi-NaOH content and decreased P-H₂SO₄ and Po-NaOH content, possibly due to organic matter decomposition at these temperatures and the consequent increase in available inorganic phosphorus. When soils were heated at 300°C, increases in Pi-HCl content were registered in the sandy loam soil, whereas this fraction decreased in loam soil. Heating both soils at 600 °C caused an increase in Pi-HCl related to higher pH values, indicating a decrease in Ca-phosphates. Burns involving soil temperatures no higher than 300 °C do not produce changes in phosphorus fraction content. Heating at 300°C produced a net decrease in P only in the loam soil, possibly due to the volatilization of organic materials.

Key words. Soil temperature, organic and inorganic phosphorus fractions, Caldenal soils.

INTRODUCCIÓN

En el Área del Caldenal en la provincia de La Pampa la actividad productiva predominante es la ganadería, esto hace necesario aumentar la producción de forrajes por lo que es muy utilizado el fuego como herramienta de manejo

para este fin, ya que permite renovar pasturas, facilitar la siembra y el rebrote de especies nativas o introducidas y disminuir la cantidad de material combustible evitando posibles incendios (Kunst & Rodríguez, 2003). Por otra parte, la disponibilidad de agua y la fertilidad del suelo

son factores que inciden en la alta calidad de forraje en términos de producción y valor nutritivo. A pesar del uso extendido de las quemas prescriptas no se ha evaluado completamente el efecto del calor sobre el contenido de nutrientes de los suelos de esta región. Uno de ellos es el fósforo, elemento muy importante en la nutrición animal que debe provenir del P disponible en el forraje (Buxton & Fales, 1994).

El efecto del fuego sobre las distintas fracciones de fósforo del suelo es variable. En algunos casos se ha encontrado que aumenta el fósforo disponible (McKee, 1982; Waldrop *et al.*, 1987), mientras que en otros no se detectaron cambios (Binkley *et al.*, 1992; Boyer & Miller, 1994). El contenido de esta fracción de fósforo estará dado por el balance entre las pérdidas por volatilización o erosión y las ganancias por descomposición de la materia orgánica o la transformación térmica de fracciones orgánicas e inorgánicas de reserva (Giardina *et al.*, 2000). La sensibilidad de las distintas fracciones de fósforo al efecto de las altas temperaturas es variable, el fósforo orgánico se encuentra entre las formas más sensibles, con temperaturas de volatilización comprendidas entre 300 y 400 °C, y el fósforo inorgánico entre las de sensibilidad moderada, con volatilización entre los 700 y 800 °C (Albanesi & Anriquez, 2003). Saa *et al.* (1994) encontraron que un fuego moderado prácticamente no produjo cambios en el fósforo disponible para las plantas, mientras que un fuego severo causó incrementos que superaron el 50% de las fracciones de fósforo inorgánico, disponible y no disponible, con la correspondiente disminución de las fracciones de fósforo orgánico.

Si bien la combustión de la materia orgánica puede liberar fósforo, su disponibilidad dependerá del pH del suelo (Kettering *et al.*, 2002), el que también puede modificarse después de una quema. Quaglia *et al.* (1999) y Giardina *et al.* (2000) encontraron aumentos de pH del suelo seguido a esta práctica de manejo. Los suelos de la Región Semiárida Pampeana Central de la Argentina (RSPC) presentan valores medios de fósforo total y las formas predominantes son los fosfatos de calcio poco solubles (Buschiazzo *et al.*, 2000), por lo que un incremento en el pH provocado por el fuego podría producir el desplazamiento de los equilibrios de solubilidad de estos fosfatos, con lo que disminuiría el contenido de fósforo disponible afectando la fertilidad de estos suelos.

Suelos de la RSPC de textura gruesa presentan mayores contenidos de las fracciones de fósforo inorgánico más lábiles que los de textura más fina (Hepper *et al.*, 1996; Urioste *et al.*, 1996). Si los cambios en el contenido de las fracciones de fósforo son dependientes de los niveles iniciales, se esperaría que el efecto del calor sobre las mismas sea variable con la textura del suelo. Por

otra parte en esta región los suelos de textura más fina poseen mayores contenidos de materia orgánica (Buschiazzo *et al.* 1991). Por lo tanto, altas temperaturas de quema podrían producir mayores pérdidas de materia orgánica por descomposición, en suelos de textura más fina que en suelos arenosos, lo que provocaría en estos suelos mayor riesgo de pérdidas netas de fósforo. Mientras que quemas de baja intensidad, como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica, podrían producir en ambos suelos aumentos en los niveles de fósforo disponible y disminuciones de fósforo orgánico.

Los efectos del fuego sobre las propiedades químicas del suelo sometido a una quema dependen de diversos factores entre los que podemos mencionar la intensidad y la frecuencia, el tipo de ecosistema y la extensión en la que actúe. Para poder comprender estos efectos a campo es necesario conocer los cambios que produce cada factor independientemente. Por ello el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del calor sobre las diferentes fracciones orgánicas e inorgánicas de fósforo de dos suelos de diferente textura, expuestos a diferentes temperaturas durante un tiempo determinado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó sobre dos Haplustoles Enticos del área del Caldenal: un suelo franco arenoso (36° 45' de latitud sur y 64° 49' de longitud oeste) y el otro franco (36° 15' de latitud sur y 65° 01' de longitud oeste) cuyas principales características se presentan en la Tabla 1.

La recolección de las muestras se realizó en cada uno de los sitios al inicio del año 2004, seleccionando al azar cinco puntos de muestreo sobre un área de 100 m². Se extrajeron muestras de suelo disturbado de los primeros 5 cm del perfil, sin cobertura vegetal. Las muestras fueron secadas al aire, tamizadas por 2000 mm, y se les determinó granulometría por el método de la pipeta de Robinson (Schlichting *et al.*, 1995). De cada muestra se tomaron siete submuestras, de 100 g cada una, una se dejó como testigo (T) y las seis restantes fueron calentadas en mufla a 100, 200, 300, 400, 500 y 600 °C, respectivamente, manteniendo durante 5 minutos la temperatura máxima. Las fracciones de fósforo orgánico e inorgánico se determinaron en todas las muestras por el método de extracción secuencial de Hedley *et al.* (1982) con modificaciones (Fig. 1). El contenido de fósforo en los diferentes extractos fue determinado por colorimetría por el método del ácido ascórbico y molibdato de amonio (Schlichting *et al.*, 1995).

Para el tratamiento estadístico de los datos se utilizó el programa InfoStat/Profesional versión 2007 (Universidad Nacional de Córdoba Estadística y Biometría F.C.A., 2007). Los resultados fueron analizados por ANVA, y contrastes entre el testigo y cada uno de los tratamientos, con un nivel de significación de 0,05.

Tabla 1. Principales características de los suelos estudiados

Table 1. Main characteristics of the studied soils.

Suelo	Arena %	limo %	Arcilla %	pH	MO mg kg ⁻¹	Ptotal mg kg ⁻¹
Franco arenoso	64,5	24,7	10,8	5,7	43,0	661,8
Franco	45,6	43,3	11,1	6,9	40,6	667,5

Los datos son promedios de 5 repeticiones.

Mean values of five samples.

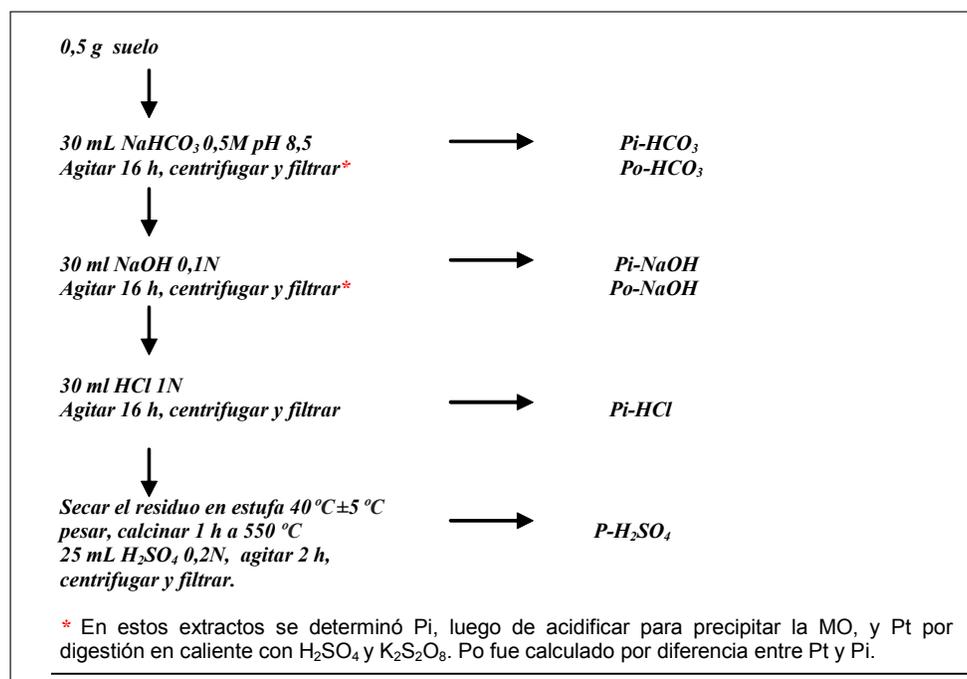


Figura 1. Esquema de la extracción secuencial de las fracciones de fósforo.

Figure 1. Sequential extraction scheme of phosphorus fractions.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los contenidos de las fracciones de fósforo inorgánico y orgánico de los suelos expuestos a distintas temperaturas se presentan en la Figura 2, los contenidos de la fracción Po-HCO₃ no fueron detectados por el método utilizado. El suelo franco arenoso presentó mayores contenidos de las fracciones Pi-HCO₃ y Pi-NaOH ($p < 0,05$) y menores de Pi-HCl y P-H₂SO₄ ($p < 0,05$), mientras que en ambos suelos no se detectaron diferencias significativas entre los contenidos de Po-NaOH ($p > 0,05$). Estos resultados son coincidentes con los de Hepper *et al.* (1996) y Urioste *et al.* (1996) quienes reportaron que suelos vírgenes, agrícolas y pastoriles de la

RSPC de textura gruesa poseen mayores contenidos de las fracciones de fósforo inorgánico más lábiles que los de textura fina.

La Figura 2a muestra que en el suelo franco arenoso se detectó un aumento significativo del contenido de Pi-HCO₃ a 300 °C (44%) y una disminución a 600 °C (48%) con respecto al testigo. En el suelo franco se registraron aumentos significativos de esta fracción de P a 300 °C y temperaturas superiores llegando en algunos casos a duplicar el contenido del testigo (Fig. 2b). Oswald *et al.* (1999) and Giardina *et al.* (2000) reportaron altos incrementos de P disponible luego de la quema de un Entisol con pH 6,6 y 7, respectivamente, cercano al óptimo para

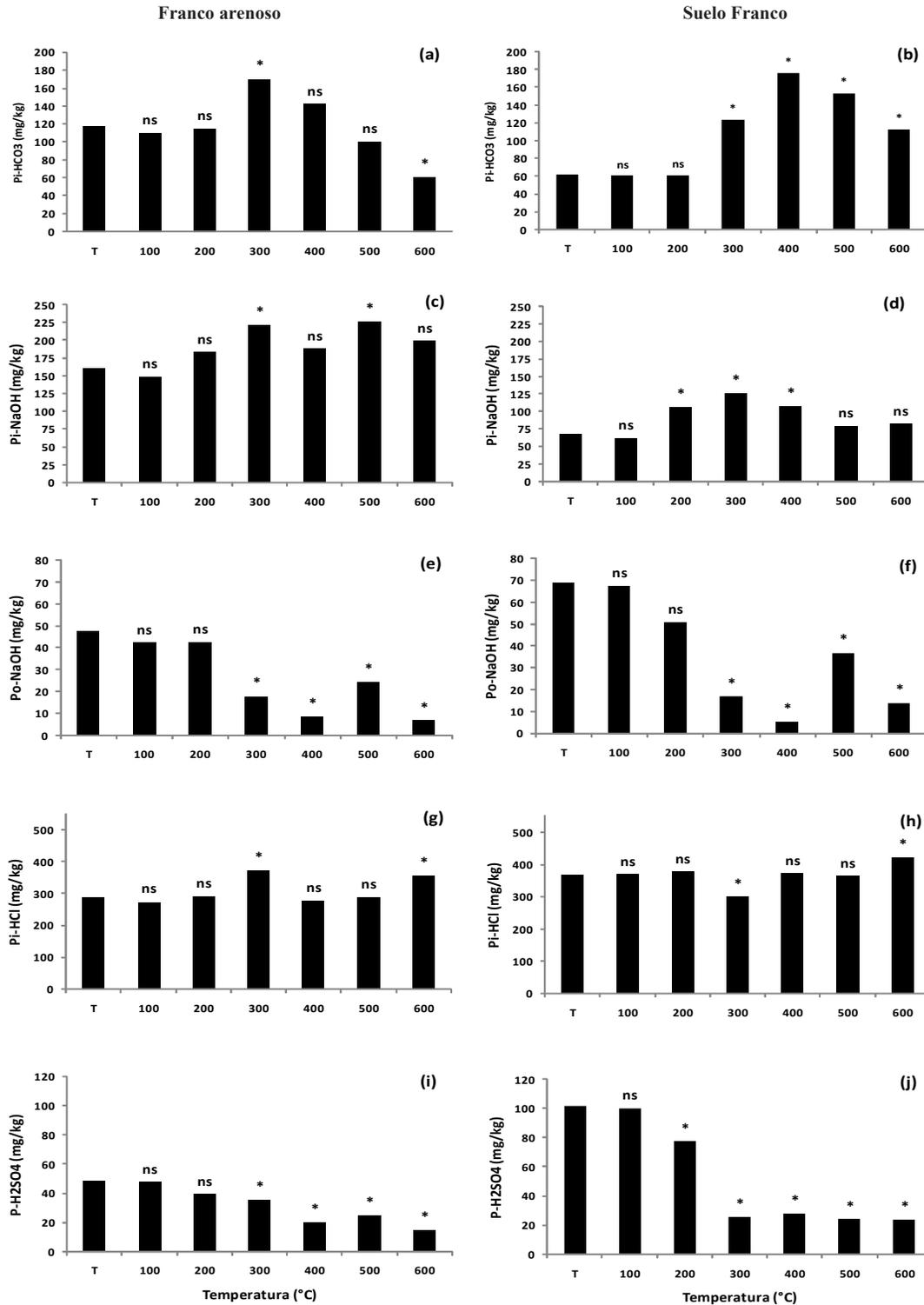


Figura 2. Contenidos de Pi-HCO₃ (a y b), Pi-NaOH (c y d); Po-NaOH (e y f), Pi-HCl (g y h) y P-H₂SO₄ (i y j) en suelos expuestos a distintas temperaturas. * indica diferencias significativas ($p < 0,05$) y ns diferencias no significativas ($p > 0,05$) con el testigo (T).

Figure 2. Pi-HCO₃ (a and b), Pi-NaOH (c and d); Po-NaOH (e and f), Pi-HCl (g and h) and P-H₂SO₄ (i and j) content of soils heated at different temperatures. * indicates significant differences ($p < 0.05$) and ns no significant differences with respect to the control (T).

la disponibilidad de P (Lindsay, 1979). A pesar de que los contenidos iniciales de $Pi-HCO_3$ del suelo franco fueron aproximadamente la mitad de los del franco arenoso, los aumentos registrados a 400 °C hicieron que dicha fracción de P alcanzara contenidos similares a los del suelo franco arenoso a igual temperatura. En este sentido los resultados encontrados en el presente estudio son coincidentes con los de Mc Kee (1982) y Simard *et al.* (2001) quienes reportaron que luego de una quema controlada los aumentos de fósforo disponible fueron más pequeños en los suelos más ácidos. Hepper *et al.* (2008) encontraron para estos mismos suelos, aumentos de pH cuando fueron calentados a 500 y 600 °C. Por lo tanto, en el presente estudio los aumentos de $Pi-HCO_3$ no habrían sido causados por la disolución de fosfatos poco solubles ya que aumentos de pH no provocan desplazamiento de los equilibrios de solubilidad hacia formas más solubles. La disminución de los contenidos de $Po-NaOH$ a 300 °C y temperaturas superiores (Fig. 2e y f) y las disminuciones en los contenidos de carbono orgánico encontradas por Hepper *et al.* (2008) para estos mismos suelos, indican que el calor descompone la materia orgánica, con el consecuente aumento de formas disponibles de fósforo inorgánico. En el suelo franco arenoso la disminución de $Pi-HCO_3$ a 600 °C estaría dada por aumento del pH (2,2 unidades), esto indicaría que en estas condiciones se produjo desplazamiento de los equilibrios de solubilidad de fosfatos hacia las formas menos solubles.

Los contenidos de $Pi-NaOH$ aumentaron por efecto del calentamiento en ambos suelos, en el franco arenoso se produjeron aumentos significativos a 300 y a 500 °C que representaron, en ambos casos, el 38% del contenido inicial, mientras que en el franco dichos aumentos se produjeron a 200 °C (58%), a 300 °C (91%) y a 400 °C (57%) (Fig. 2c y d).

Las variaciones de los contenidos de $Po-NaOH$ como consecuencia del calentamiento del suelo se muestran en la Figuras 2e y f. En los dos suelos se detectaron disminuciones significativas de los contenidos de $Po-NaOH$ a partir de 300 °C. Las disminuciones relativas, comparadas a igual temperatura, fueron de igual magnitud en ambos suelos oscilando entre un 60 y 85% con respecto al testigo. Hepper *et al.* (2008) comprobaron que en estos mismos suelos se produjeron disminuciones de los contenidos de MO mayores al 85% a temperaturas de 500 y 600 °C. Estos valores indican que las pérdidas de MO han sido prácticamente totales. Resultados similares fueron reportados por otros autores, en este sentido Kettering *et al.* (2002) encontraron que a 600 °C la materia orgánica disminuyó un 72% respecto del suelo sin tratar y Sertsu & Sánchez (1978) reportaron que el efecto de la temperatura sobre la materia orgánica fue similar en suelos de

distinta textura, registrando disminuciones a 200 °C y destrucción total a 400 °C, con un tiempo de exposición al calor mayor al utilizado en este trabajo.

La Figura 2g y h muestra que a 300 °C los contenidos de $Pi-HCl$ aumentaron un 29% respecto del testigo en el suelo franco arenoso y disminuyeron un 19% en el franco. El aumento en el suelo franco arenoso indicaría que a esa temperatura se afectaría la estabilidad de agregados y el Po ocluido en los mismos sería mineralizado térmicamente durante la combustión de la MO estabilizada. Giovannini & Luchessi (1983) y Giovannini *et al.* (1988) encontraron que el calentamiento redujo la estabilidad de los agregados desarrollados en los primeros 2 cm del suelo, liberándose el fósforo ocluido en los mismos. Hepper *et al.* (2008), en un estudio realizado sobre estos mismos suelos, encontraron que el suelo franco arenoso fue más sensible a la exposición al calor que el franco. Índices de la mayor sensibilidad del suelo franco arenoso fueron los mayores cambios en su composición textural, manifestada principalmente por disminuciones de los contenidos de arena gruesa cuando el suelo fue calentado entre 200 y 400 °C. En ambos suelos se produjeron aumentos relativos de $Pi-HCl$ (23 y 14%) a 600 °C, en coincidencia con aumentos de pH encontrados por Hepper *et al.*, 2008 (2,2 y 1,4 unidades para el franco arenoso y el franco, respectivamente). Los aumentos de pH habrían provocado un desplazamiento de los equilibrios de solubilidad de los fosfatos de calcio, precipitándolos. Durante la extracción con HCl estos precipitados habrían sido solubilizados, incrementándose de esta forma sus contenidos.

La fracción de fósforo más estable, $P-H_2SO_4$, disminuyó significativamente en el suelo franco arenoso a partir de 300 °C y en el franco a partir de 200 °C (Figs. 2i y j). En ambos suelos las disminuciones relativas fueron semejantes y representaron entre 20 y 70% respecto del testigo. Las disminuciones de esta fracción de fósforo, que incluye formas orgánicas de P más estables, probablemente contribuyeron en parte al aumento de las fracciones más lábiles.

En el suelo franco arenoso el calentamiento del suelo a una temperatura de 300 °C habría producido un aumento neto de fósforo de 156 mg kg⁻¹, como producto del balance entre los aumentos de $Pi-HCO_3$, $Pi-NaOH$ y $Pi-HCl$ que sumaron 198 mg kg⁻¹ y las disminuciones de $P-H_2SO_4$ y $Po-NaOH$, que alcanzaron 42 mg kg⁻¹. Este aumento podría deberse a la liberación de P ocluido en los agregados del suelo producto de la ruptura de los mismos por acción del calor. En contraposición, en el suelo de textura franca, el calentamiento a 300 °C habría producido una disminución neta de P de 78 mg de P kg⁻¹ debida a los aumentos de $Pi-HCO_3$ y $Pi-NaOH$ (120 mg kg⁻¹) y las disminuciones de $Pi-HCl$, $P-H_2SO_4$ y $Po-NaOH$ (198 mg kg⁻¹). Las posibles

pérdidas de P en este suelo podrían deberse a la volatilización de fósforo a esa temperatura. El contenido total de P como suma de las fracciones fue similar en ambos suelos por lo cual los cambios en las fracciones de fósforo en cada uno de los suelos no estuvieron relacionados con los contenidos iniciales.

A temperaturas de calentamiento superiores a 300 °C, en ambos suelos, los cambios netos de fósforo no fueron significativos lo que estaría indicando que a altas temperaturas se producen transformaciones de unas formas de fósforo a otras.

CONCLUSIONES

Este estudio permitió determinar en general, que en ambos suelos, los principales efectos de la temperatura sobre las fracciones de fósforo se produjeron cuando el suelo fue calentado a 300 °C o superiores.

Quemas de baja intensidad, que eviten que la temperatura del suelo alcance los 300 °C, no producirán cambios en los contenidos de las fracciones de fósforo. Mientras que a 300 °C se producirán, en ambos suelos, aumentos en los niveles de fósforo disponible y disminuciones de fósforo orgánico como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica. En esta condición podrían producirse pérdidas de P en el suelo franco, que estarían dadas por volatilización de compuestos de P y aumentos en el suelo franco arenoso que podrían deberse a la liberación de P ocluido como producto de la ruptura de agregados.

En ambos suelos quemas que desarrollen altas temperaturas, mayores a 300 °C, disminuirán la disponibilidad de fósforo por precipitación de fosfatos de calcio.

AGRADECIMIENTOS

La Facultad de Agronomía de la UNLPam financió esta investigación (Proyecto I-64/08).

BIBLIOGRAFÍA

- Albanesi, A & A Anriquez. 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.
- Binkley, D; D Richter; MB David & B Caldwell. 1992. Soil chemistry in a loblolly longleaf pine forest with interval burning. *Ecol. Appl.* 2: 157-164.
- Boyer, WD & JH Miller. 1994. Effects of burning and brush treatments on nutrient and soil physical properties in young long-leaf pine stands. *For. Ecol. Manage.* 70: 311-318.
- Buschiazzo, DE; A Quiroga & K Stahr. 1991. Patterns of organic matter distribution in soils of de Semiarid Argentinian Pampas. *Z. Pflanzenernähr. Boden.* 154: 437-441.
- Buschiazzo, DE; GG Hevia; AM Urioste & EN Hepper. 2000. Cultivation effects on phosphate forms and sorption in loess soils of Argentina. *Soil Science* 165: 427-436.
- Buxton, DR & SL Fales. 1994. Plant Environment and Quality. Pp 165. *In: Fahey, GC Jr. Forage Quality, Evaluation and Utilization*. ASA, CSSA, SSSA. Madison, Wisconsin.
- Giardina, C; 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.
- Giovannini, G & S Lucchesi. 1983. Effect of fire on hydrophobic and cementing substances of soil aggregates. *Soil Sci.* 136: 231-236.
- Giovannini, G; S Lucchesi & M Giachetti. 1988. Effect of heating on some chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Sci.* 146: 255-261.
- Hedley, MJ; JWB Stewart & BS Chauhan. 1982. Changes in inorganic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 970-976.
- Hepper, EN; GG Hevia; DE Buschiazzo; AM Urioste & AA Bono. 1996. Efectos de las agricultura sobre fracciones de fósforo en suelos de la Región Semiárida Pampeana Central (Argentina). *Ciencia del Suelo* 14(2): 96-99.
- Hepper, EN; AM Urioste; V Belmonte & DE Buschiazzo. 2008. Temperaturas de quema y propiedades físicas y químicas de suelos de la región semiárida pampeana central. *Ciencia del Suelo* 26(1): 29-34.
- Ketterings, QM; M van Noordwijk & JM Bigham. 2002. Soil phosphorus availability after slash and burn fires of different intensities in rubber agroforests in Sumatra, Indonesia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 92: 37-48.
- Kunst, C & N Rodríguez. 2003. Fuego prescripto. Cap.18. Pp 199-215. *En: C Kunst; S Bravo & JL Panigatti (eds.). Fuego en los Ecosistemas Argentinos*. Editorial INTA, Santiago del Estero, Argentina.
- Lindsay, WL. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley & Sons, New York.
- McKee, WH. 1982. Changes in soil fertility following prescribed burning on coastal plain pine sites. USDA For. Serv. Res. Paper SE-RP-234, 23 pp.
- Oswald, BP; D Davenport & LF Neuenschwander. 1999. Effects of slash pile burning on the physical and chemical soil properties of Vassar soils. *J. Sustain. For.* 8: 74-86.
- Quaglia G; L Picone; F García & P Laterra. 1999. Efecto de la quema de pajonales de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*) de la Pampa Deprimida, sobre algunas propiedades químicas y biológicas del suelo. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, pp. 133. Pucón, Chile, CD.
- Saa, A; MC Trasar-Cepeda; F Soto; F Gil-Sotres & F Díaz-Fierros. 1994. Forms of P in sediments eroded from burnt soils. *J. Environ. Qual.* 23: 739-746.

- Sertsu, 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; KH Blume & K Stahr. 1995. *Bodenkundliches Praktikum*. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin. 295 pp.
- Simard, DG; JW Fyles; D Pare & T Nguyen. 2001. Impact of clearcut harvesting and wildfire on soil nutrient status in the Quebec boreal forest. *Can. J. Soil Sci.* 81: 229-237.
- Urioste, AM; AA Bono; DE Buschiazzo; GG Hevia & EN Hepper. 1996. Fracciones de fósforo en suelos agrícolas y pastoriles de la Región Semiárida Pampeana Central (Argentina). *Ciencia del Suelo* 14(2): 92-95.
- Waldrop, TA; DH Van Lear; FT Lloyd & WR Harms. 1987. Long-term studies of prescribed burning in loblolly pine forests of the southeastern coastal plain. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. SE-GTR-45. 23 pp.