

TRABAJO ORIGINAL**EFFECTO DE UNA QUEMA PRESCRIPTA DE PASTIZALES NATIVOS
SOBRE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS DEL SUELO**

*The effect of prescribed burning of native grasslands
on soil biological processes*

GONZÁLEZ, C., ABRIL¹, A. Y VOLLENWEIDER, J.J.

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba

RESUMEN

La quema de pastizales es una práctica habitual para mejorar la calidad del forraje, asumiendo que el fuego tiene poco impacto sobre el suelo y que los procesos edáficos se recuperan en un corto período de tiempo. En este trabajo se evaluó el efecto de una quema prescrita sobre el suelo en un establecimiento ganadero de la localidad de Achiras (provincia de Córdoba), donde los pastizales naturales son quemados periódicamente. Dentro de un potrero de características homogéneas, se quemó un sector de una ha y se dejó el resto como control sin quemar. Se muestreo suelo superficial inmediatamente después del incendio y a los 30, 180, 360 y 720 días. Los procesos biológicos del suelo se evaluaron mediante recuento de grupos funcionales microbianos, respiración edáfica y contenido de materia orgánica y nitratos. Todos los grupos microbianos disminuyeron significativamente por efecto del fuego (entre -70% y -16%), coincidentemente la respiración del suelo permaneció con valores menores al control durante los dos años analizados (entre -68 y -32%). La materia orgánica fue menor en todos los muestreos excepto a los 30 días. El contenido de nitratos aumentó en el primer muestreo (240%), pero a partir de los 30 días fue similar al suelo control. El fuerte efecto del fuego sobre los microorganismos edáficos tiene relación con la presencia de materia orgánica labil superficial característico de suelos con pastizales. La escasa recuperación de las propiedades biológicas podría deberse al tipo de manejo ganadero después de la quema. El fuerte pastoreo del rebrote de las gramíneas impide la recuperación de la vegetación alterando el retorno de compuestos orgánicos al suelo. Esto hace que, a los dos años del fuego, la ganancia inicial de nutrientes se haya perdido y que los procesos biológico no se hayan recuperado.

Palabras clave: fertilidad, respiración edáfica, materia orgánica, nitratos, grupos funcionales microbianos.

Recibido: 03 de septiembre de 2003

Aceptado: 13 de diciembre de 2004

1. Microbiología Agrícola, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. C.C. 509 (5000) Córdoba.
E-mail: aabril@agro.uncor.edu

SUMMARY

Periodical burning of native grasslands is a widespread management practice for improving forage quality, under the assumption that impact on the soil is minimal and short-lived. Here we evaluate the effect of burning on soil biological processes in a cattle rangeland (Achiras, Córdoba, Argentina) where prescribed burning is used regularly. The experimental design consisted in burning one ha sector in an homogeneous, non-burnt native grassland paddock used as control. Soil was sampled immediately after fire and then at 30, 180, 360, and 720 days afterwards. Soil biological processes were measured by counting microbial functional groups, soil respiration, and organic and nitrate content. All microbial functional groups decreased significantly after fire (between -70% and -16%). Accordingly, soil respiration remained below control values throughout the whole study period (between -68% and -32%). Soil organic matter was lower than control in all sampling dates except the 30 days measurement. Nitrate content increased (240%) in the initial sample and thereafter remained similar to control values. The observed strong negative impact caused by fire on soil microorganisms is related with superficial and labile soil organic matter characteristic of grassland soils. Limited recovery of soil biological properties may be related with cattle management after burning. Intense grazing of recently resprouting grasses restrains vegetation recovery affecting organic matter turnover. As a result, after two years the initial nutrient gain has been lost and soil biological processes have not recovered to original conditions.

Key words: fertility, soil respiration, organic matter, nitrate, microbial functional groups.

INTRODUCCIÓN

La quema de pastizales es una práctica habitual en ambientes semiáridos con la finalidad de obtener rebrotes tempranos para el ganado (Wienhold y Klemmenson, 1992; Kunst, 1996). Teniendo en cuenta las características del combustible se espera que el fuego tenga poco impacto sobre el suelo y que los procesos edáficos se recuperen en un corto período de tiempo (Scholes y Walker, 1993; Barbour, Burk, Pitts, Gillian y Schwartz, 1999).

Es ampliamente aceptado que, como consecuencia de la combustión del material vegetal, se produce un aporte de nitrógeno disponible en el suelo que justifica el mejor rebrote y el aumento de la producción de forraje (O'Lear, Seastedt, Briggs, Blair y Ramundo, 1996; Knapp, Briggs, Hartnett y Collins, 1998). Sin embargo también se menciona que existe una disminución en respuesta del pastizal a lo largo del tiempo, cuya magnitud varía con la frecuencia de quemadas y el manejo ganadero que se hace después del incendio. Esta tendencia estaría fuertemente relacionada con perdi-

das en la fertilidad del suelo ocasionadas por efecto del fuego (Coutinio, 1982; Bork, Adams y Willms, 2002).

La respuesta del suelo frente a las quemadas depende del incremento de la temperatura y del aporte de cenizas (Barbour y otros, 1999; Badia y Marti, 2003a). Las altas temperaturas provocan pérdidas en el contenido de materia orgánica del suelo, tanto superficial como humificada, mientras que el aporte de cenizas modifica el ciclo de los elementos minerales. Es evidente que el aumento de la temperatura, las pérdidas de vegetación y materia orgánica y los cambios en los estados de oxidación de los nutrientes afectan a las poblaciones microbianas del suelo, alterando los procesos biológicos de la fertilidad (Paul y Clark, 1996; Abril, 2002).

Actualmente se ha propuesto que los microorganismos del suelo pueden ser indicadores válidos para el diagnóstico de impacto y restauración de ecosistemas alterados (Roper y Ophel-Keller, 1998; Abril 2003), sin embargo es escasa la información referida a los efectos del fuego sobre las microbiocenosis y sus

consecuencias (Dumontet, Dinel, Scopa, Maz-zatura y Saracino, 1996; González, Abril y Acosta, 1999; Badia y Marti, 2003b).

Teniendo en cuenta la importancia que reviste la fertilidad edáfica para el mantenimiento de la productividad de los pastizales, el objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios producidos por una quema prescrita, utilizando a los procesos biológicos como indicadores del grado de impacto y recuperación de los suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un establecimiento ganadero ubicado en la Pedanía Achiras del Departamento Río Cuarto (32° 10' S y 64° 50' W), en la provincia de Córdoba. La propiedad tiene una extensión de 1.500 ha y esta dedicada exclusivamente a la ganadería de invernada y cría desde aproximadamente 40 años. Los potreros son sometidos a quemaduras periódicas con la finalidad de mantener productivo el pastizal, que soporta una carga aproximada de un animal cada 4 ha.

La zona presenta un relieve de lomadas suaves de origen eólico, con una altitud promedio de 850 msnm. Los suelos son Haplustoles enticos de textura franco arenosa y moderada profundidad (Jarsun, Gorgas, Bosnero, Zamora y Lovera, 1990). El clima es semi-seco, con precipitaciones entre 390 y 510 mm anuales, aunque durante el período de estudio se registraron mayores precipitaciones (839 y 1028 mm). Las temperaturas medias son 23,8°C en verano y 9,2 °C en invierno (Capitanelli, 1979).

Fitogeográficamente la zona pertenece a la provincia del Espinal distrito del Pastizal (Cabrera, 1976). La especie arbórea típica es el caldén (**Prosopis caldenia**), que se presenta aislado o en manchones reducidos y que pertenece a distritos vecinos. En la actualidad los caldenes están casi exterminados por el aprovechamiento intensivo de su madera y los únicos árboles nativos de la zona son los algarrobos blancos (**Prosopis alba**) en las cercanías de los

potreros. El resto de la vegetación está constituida por un denso y variado pastizal de gramíneas entre las que se destacan: **Aristida adscensionis**, **Bothriochloa laguroides**, **Eragrostis lugens**, **Festuca hieronymi**, **Piptochaetium montevidense**, *Microchloa* spp, *Schyzachirium* sp, y **Stipa tenuissima** (Anderson, 1993).

Los sitios de estudio se establecieron en un potrero cuyos pastizales fueron quemados con fines ganaderos en 1986, 1991 y 1994. Dentro del potrero se delimitó un sector de una ha que fue sometido a fuego prescrito en setiembre de 1996, dejando el resto del potrero como control sin quemar. A los 60 días del incendio ambos sitios fueron pastoreados hasta finales de marzo dejándolos descansar dos meses para forraje diferido. Se realizó el mismo manejo ganadero durante dos años consecutivos.

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

Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas por malla 2 mm. Se determinó la densidad de microorganismos de diferentes grupos funcionales mediante el método del número más probable en medios líquidos específicos para los grupos celulolíticos, amonificadores y nitrificadores (Lorch, Benckieser y Ottow, 1995) y por recuento en placa para bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre (Döbereiner, 1995). Las muestras fueron incubadas a 28°C durante 5, 7, 15, y 21 días según los tiempos de crecimiento de los grupos microbianos estudiados. Además se midió la respiración del suelo mediante el método de captación de CO₂ (Alef, 1995), el contenido de nitratos mediante potenciometría (Keeney y Nelson, 1982) y el contenido de materia orgánica por el método de Walkley y Black (Nelson y Sommer, 1982).

Para cada parámetro, las variaciones entre el suelo control y el quemado se analizaron mediante una prueba de t ($p < 0,05$).

RESULTADOS

Inmediatamente de apagado el fuego prescripto, el sitio quemado no presentaba vegetación y estaba cubierto de carbonilla, indicando que los procesos de combustión no fueron completos. A los 30 días y después de haber recibido las primeras precipitaciones primaverales, los pastizales comenzaron a rebrotar y a los 180 días del fuego aparecieron latifoliadas anuales.

Las poblaciones microbianas del suelo se vieron muy afectadas por el efecto del fuego: a) los organismos fijadores de nitrógeno disminuyeron en forma significativa en todos los muestreos, excepto a los 360 días, b) los amonificadores y nitrificadores mostraron fuertes pérdidas desde la quema hasta el final del estudio, y c) los celulolíticos disminuyeron

significativamente en los primeros muestreos, recuperándose a partir de los 180 días (Cuadro 1). En coincidencia con la reducción del número de todos los grupos microbianos estudiados, la respiración del suelo se vió significativamente reducida en todas las fechas analizadas (Cuadro 2).

La materia orgánica disminuyó significativamente inmediatamente después del incendio, aunque a los 30 días el sitio quemado presentó valores de igual magnitud que el control. Posteriormente a los 180, 360 y 720 días después del incendio las diferencias de materia orgánica fueron significativas, correspondiendo los mayores valores al sitio control (Cuadro 2). No se establecieron correlaciones significativas entre el contenido de materia orgánica y la respiración del suelo, ni la abundancia de los diferentes grupos microbianos.

Contrariamente, en el primer muestreo el contenido de nitratos mostró diferencias significativas en favor del suelo quemado, mientras que a los 30 días ambos suelos tenían valores similares. Durante el período de lluvias (180 días) el contenido de nitratos fue

CUADRO 1: Efecto de la quema prescripta sobre los grupos funcionales microbianos (\pm DE) del suelo. Asteriscos (*) indican diferencias significativas (test de t, $p < 0,05$) entre los sectores quemados (Q) y control (NQ), para una misma fecha de muestreo.

Table 1: The effect of prescribed burning on soil microbial functional groups (\pm DS). Values marked with * differ significantly (t test, $p < 0.05$) between burnt (Q) and control sites (NQ), for the same sampling date.

		Inicial	30 días	180 días	360 días	720 días
Fijadores de N ₂ (log g ⁻¹)	Q	6,8 * ($\pm 0,13$)	5,5 * ($\pm 0,38$)	4,4 * ($\pm 0,05$)	4,9 ($\pm 0,64$)	4,9 * ($\pm 1,17$)
	NQ	8,1 ($\pm 1,08$)	6,5 ($\pm 0,06$)	6,1 ($\pm 0,33$)	5,8 ($\pm 0,29$)	6,9 ($\pm 0,64$)
Amonificadores (log g ⁻¹)	Q	5,8 * ($\pm 0,84$)	5,4 * ($\pm 0,51$)	4,1 * ($\pm 1,70$)	3,4 * ($\pm 2,09$)	6,8 * ($\pm 0,45$)
	NQ	7,4 ($\pm 0,39$)	8,2 ($\pm 0,01$)	6,8 ($\pm 0,33$)	6,4 ($\pm 1,33$)	8,1 ($\pm 1,02$)
Celulolíticos (log g ⁻¹)	Q	3,2 * ($\pm 0,58$)	2,1 * ($\pm 1,84$)	1,2 ($\pm 1,08$)	1,0 ($\pm 0,89$)	4,3 ($\pm 0,60$)
	NQ	4,4 ($\pm 0,20$)	3,0 ($\pm 0,27$)	1,9 ($\pm 0,19$)	1,2 ($\pm 0,66$)	5,4 ($\pm 1,35$)
Nitrificadores (log g ⁻¹)	Q	0,1 * ($\pm 0,09$)	1,3 * ($\pm 0,77$)	0,1 * ($\pm 0,04$)	0,1 * ($\pm 0,07$)	1,1 * ($\pm 0,99$)
	NQ	0,6 ($\pm 0,10$)	1,9 ($\pm 0,26$)	1,8 ($\pm 0,28$)	1,0 ($\pm 0,72$)	2,7 ($\pm 0,90$)

CUADRO 2: Efecto de la quema prescrita sobre la respiración y el contenido de materia orgánica y nitratos del suelo (\pm DS). Asteriscos (*) indican diferencias significativas (test de t, $p < 0,05$) entre los sectores quemados (Q) y control (NQ), para una misma fecha de muestreo.

Table 2: The effect of prescribed burning on soil respiration and organic matter and nitrate content (\pm DS). Values marked with * differ significantly (t test, $p < 0.05$) between burnt (Q) and control sites (NQ), for the same sampling date.

		Inicial	30 días	180 días	360 días	720 días
Respiración (mg CO ₂ g ⁻¹)	Q	0,120 * ($\pm 0,030$)	0,258 * ($\pm 0,081$)	0,450 * ($\pm 0,133$)	0,597 * ($\pm 0,121$)	0,270 * ($\pm 0,073$)
	NQ	0,233 ($\pm 0,021$)	0,513 ($\pm 0,040$)	0,837 ($\pm 0,075$)	0,883 ($\pm 0,211$)	0,863 ($\pm 0,033$)
Materia Orgánica (%)	Q	1,3 * ($\pm 1,01$)	4,4 ($\pm 0,31$)	1,8 * ($\pm 0,43$)	2,1 * ($\pm 0,14$)	1,3 * ($\pm 0,25$)
	NQ	4,6 ($\pm 0,27$)	4,3 ($\pm 0,72$)	3,2 ($\pm 0,66$)	3,9 ($\pm 0,40$)	4,3 ($\pm 0,36$)
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	Q	7,8 * ($\pm 1,34$)	30,8 ($\pm 11,2$)	8,3 * ($\pm 2,89$)	9,1 ($\pm 2,45$)	8,3 ($\pm 3,82$)
	NQ	2,3 ($\pm 1,00$)	31,6 ($\pm 13,7$)	23,8 ($\pm 4,65$)	10,8 ($\pm 6,61$)	11,6 ($\pm 3,52$)

significativamente menor en el sitio quemado y al año y dos años no se observaron diferencias entre los sitios (Cuadro 2). Los valores de nitratos se correlacionaron negativa y significativamente con la abundancia de microorganismos nitrificadores en el suelo ($r = -0,887$).

DISCUSIÓN

El tipo de quema prescrita realizada en los pastizales del establecimiento ganadero estudiado hace suponer que el fuego fue rápido y que las temperaturas alcanzadas durante la quema fueron bajas. Numerosos autores mencionan que fuegos con estas características no provocan la combustión completa del material vegetal, por lo que las condiciones edáficas no se modifican sustancialmente (Sertsu y Sánchez, 1978; Scholes y Walker, 1993; Barbour y otros, 1999). Sin embargo en nuestros resultados el efecto del fuego sobre los procesos biológicos responsables de la fertilidad fue muy evidente.

Modificaciones de los procesos del ciclo del carbono

Los suelos originales del establecimiento ganadero estudiado tienen elevado contenido de materia orgánica (aproximadamente 4%) originado a partir de residuos de gramíneas. Por tal motivo, hay fuertes evidencias para pensar que la materia orgánica está constituida por compuestos carbonosos lábiles localizados superficialmente (Neill, Cerri, Melillo, Feigl, Stewardler, Moraes y Piccolo, 1998; Abril y Bucher, 2001). Como consecuencia, tanto la materia orgánica como los microorganismos descomponedores asociados, se ven directamente expuestos al efecto del fuego. Este aspecto se observa claramente en nuestros resultados a través de la significativa disminución de la respiración edáfica y en la fuerte reducción de la población de organismos celolíticos inmediatamente después de la quema (Figura 1).

La presencia de mayor cantidad de materia orgánica a los 30 días del incendio puede ser resultado de la solubilización de la

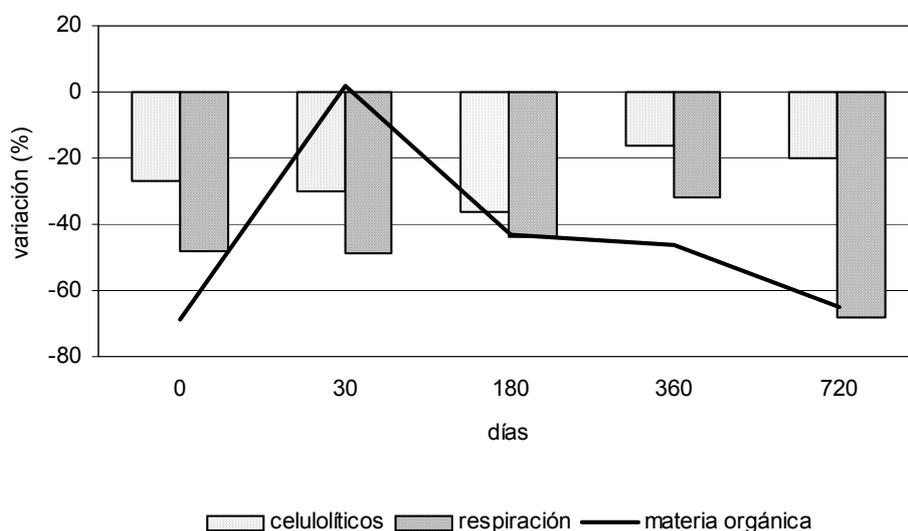


FIGURA 1: Variaciones en la respiración, la abundancia de organismos celulolíticos y el contenido de materia orgánica del suelo durante el período de estudio. Valores expresados como porcentaje de la diferencia entre el sitio no quemado y el quemado,

Figure 1: Variations in soil respiration, cellulolytic microorganisms abundance and organic matter content in soil during the study period. Values indicate percentage difference between control and burnt site.

carbonilla depositada sobre el suelo, a causa de que el método utilizado detecta el contenido total de carbono, no diferenciando las diferentes fracciones del suelo (Nelson y Sommer 1982). La falta de correlación entre el contenido de materia orgánica, la respiración y el número de organismos celulolíticos hace descartar la posibilidad de que el aumento de la materia orgánica al mes de la quema se deba a la activación de los procesos de descomposición. Este efecto ha sido mencionado en otros ambientes quemados, como resultado de la descomposición de las raíces de plantas muertas por el fuego (González y otros, 1999).

Modificaciones en los procesos del ciclo de nitrógeno

Los resultados obtenidos en este estudio en relación al aumento en el contenido de nitratos, son coincidentes con trabajos realizados en otros ecosistemas (Prieto, Fernández, Villar y Carballas, 1993; O'Lear y otros, 1996).

El aumento de iones oxidados en el suelo es resultado directo de quemaduras de bajas temperaturas y fundamenta el uso del fuego prescrito para aumentar la producción de forraje (Cook, Hershey y Irwin, 1994; Knapp y otros, 1998). En la zona estudiada los nitratos estuvieron disponibles sólo en el comienzo del primer ciclo de crecimiento de las gramíneas (Figura 2). La pérdida del contenido de nitrato inicial podría deberse: a) a que la recuperación del pastizal quemado demanda mayor cantidad de nutrientes que el rebrote de las gramíneas no quemadas y b) a pérdidas por lixiviación resultado de la alta solubilidad de los nitratos (Knapp y otros, 1998; Bork y otros, 2002).

La marcada alteración de la dinámica de las poblaciones del ciclo del nitrógeno indica cambios profundos en la disponibilidad de nutrientes en los suelos quemados (Holt y Coventry, 1991; Smith, Halvorson y Bolton, 1994). Es ampliamente aceptado que los grupos poco diversos y muy sensibles a las

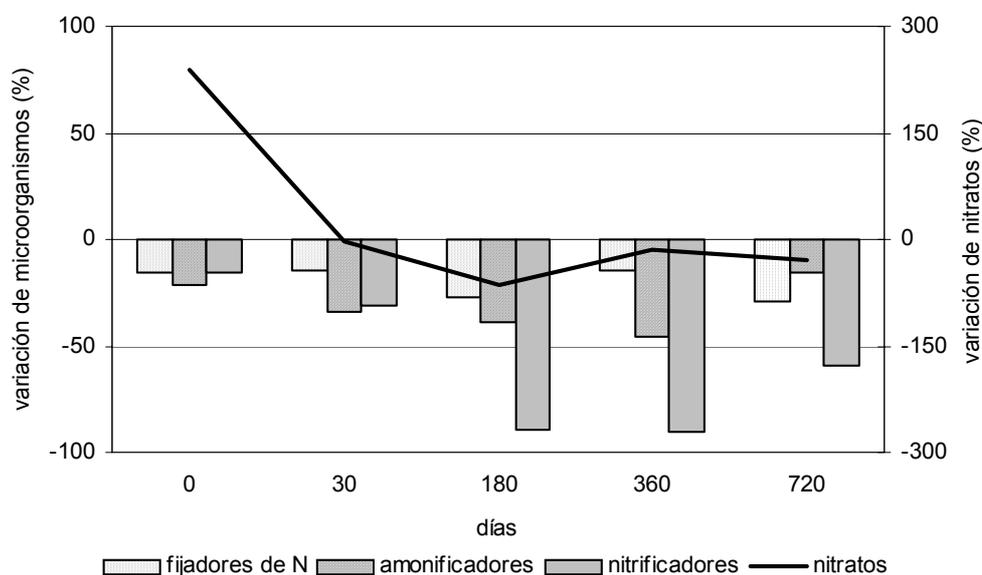


FIGURA 2: Variaciones en la abundancia de organismos amonificadores, nitrificadores y fijadores de nitrógeno y el contenido de nitratos del suelo durante el período de estudio. Valores expresados como porcentaje de la diferencia entre el sitio no quemado y el quemado.

Figure 2: Variations in ammonifiers, nitrifiers, and nitrogen fixing microorganisms abundance and organic matter content in soil during the study period. Values indicate percentage difference between control and burnt site.

condiciones ambientales (por ej. nitrificadores) son más afectados por los impactos productivos que los muy abundantes y diversificados (por ej. amonificadores) (Roper y Ophel-Keller, 1998; Abril, 2003). Sin embargo en nuestros resultados todos los grupos microbianos se vieron fuertemente disminuidos. Las pérdidas observadas en los amonificadores tendrían relación con la mencionada localización superficial de la materia orgánica en el suelo, ya que son organismos responsables de las primeras etapas del proceso de descomposición de los restos vegetales (Paul y Clark, 1996).

Contrariamente, la disminución de los nitrificadores podría implicar la alteración de procesos microbianos más complejos, a causa de que su metabolismo depende de la oxidación de amonio a nitrato. La correlación negativa entre el contenido de nitratos y la abundancia de microorganismos nitrificadores indicaría

que el aumento de nitratos produce un efecto de retroalimentación (feed-back) inhibiendo la actividad nitrificadora y el crecimiento de los organismos oxidadores de amonio (Castaldi y Aragosa, 2002).

Recuperación de la fertilidad edáfica

Después de los dos años de estudio los suelos quemados no habían recuperado las condiciones de fertilidad del control. Es conocido que pastizales quemados, donde se excluye el ganado a posterior del fuego, logran mayor productividad y se recuperan en cortos períodos de tiempo (Bachelet, Lenihan, Daly y Neilson, 2000). Por tal motivo en nuestro caso el tipo de manejo ganadero aplicado a posterior de la quema prescrita parece ser la causa de la falta de recuperación de los suelos. La mayor disponibilidad de nitratos al momento del rebrote del pastizal hace que el forraje sea altamente

palatable (Bork y otros, 2002) y que el ganado lo consume en su totalidad, a diferencia de los pastos sin quemar en los cuales siempre hay un remanente de baja palatabilidad que retorna al suelo como aporte de materia orgánica.

Estos aspectos deberían tenerse en cuenta para el manejo ganadero de áreas quemadas. Sería conveniente regular la carga animal y planificar períodos de rotación de mayor duración para favorecer el aporte de restos vegetales y de esa manera recuperar los procesos biológicos del suelo sin perder la ganancia inicial de nutrientes.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al propietario de la Estancia María del Carmen, por haber facilitado el lugar para la realización del ensayo. Este trabajo ha sido subsidiado por el Consejo de Investigaciones Científicas de la Provincia de Córdoba y la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

BIBLIOGRAFÍA

- ABRIL, A. 2002. La microbiología del suelo: su relación con la agricultura sustentable. In: Agroecología. El Camino hacia una Agricultura Sustentable. S. J. Sarandon (Ed.). Ediciones Científicas Americanas. La Plata. pp 129-150.
- , 2003. Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas? Ecología Austral (en prensa)
- y BUCHER, E.H. 2001. Overgrazing and soil carbon dynamics in the Western Chaco of Argentina. *Applied Soil Ecology* 16: 243-249.
- ALEF, K. 1995. Soil Respiration. In: A Kassem and P Nannipieri (eds.). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press. Harcourt Brace & Company Publishers. London U.K. pp 214-219.
- ANDERSON, D.L. 1993. Curso de manejo de pastizales en zonas aridas y semiáridas. INTA. EEA San Luis – AMEPA, Villa Mercedes, San Luis.
- BACHELET, D., LENIHAN, J.M., DALY, C. y NEILSON, R.P. 2000. Interactions between fire, grazing and climate change at Wind Cave National Park, SD. *Ecological Modelling* 134: 2-3.
- BADIA, D. y MARTI, C. 2003a. Plant ash and heat intensity effects on chemical and physical properties of two contrasting soils. *Arid Land Research and Management*. 17: 23-41.
- y MARTI, C. 2003b. Effect of simulated fire on organic matter and selected microbiological properties of two contrasting soils. *Arid Land Research and Management*. 17: 55-61
- BARBOUR, M.G., BURK, J.H., PITTS, W.D., GILLIAN, F.S. y SCHWARTZ, M.W. 1999. *Terrestrial Plant Ecology*. Addison Wesley Longman, Inc. California.
- BORK, E.W., ADAMS, B.W. y WILLMS, W.D. 2002. Resilience of foothills rough fescue, **Festuca campestris** rangeland to wildfire. *Canadian Field Naturalist*. 116: 51-59.
- CABRERA, A. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. 2da Edición. 2: 1-85.
- CAPITANELLI, R. 1979. Clima. In: J Vazquez, RA Miatello y M Roque (eds). *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Boldt. Buenos Aires. pp 45-138.
- CASTALDI, S. y ARAGOSA, D. 2002. Factors influencing nitrification and denitrification variability in a natural and fire-disturbed Mewdierranean shrubland. *Biology and Fertility of Soils*. 36: 418-125.
- COOK, J.G., HERSHEY, T.J. y IRWIN, L.L. 1994. Vegetative response to burning on Wyoming mountain-shrub big game ranges. *J. Range Manage.* 47: 296-302.
- COUTINIO, L.M. 1982. Ecological effects of fire in brazilian cerrado. In: BJ Huntley and BH Walker (eds). *Ecology of Tropical Savannas*. Springer-Verlag. Berlin. pp 273-291.
- DÖBEREIMER, J. 1995. Isolation and identification of aerobic nitrogen fixing bacteria from soil and plant. K Alef and P. Nannipieri (eds.) *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, Harcourt Brace & Company, Publishers. Pp 134-141.
- DUMONTET, S., DINEL, H., SCOPA, A., MAZZATURA, A. y SARACINO, A. 1996. Post-fire soil microbial biomass and nutrient content of a pine forest soil from a dunal mediterranean environment. *Soil Biol. Biochem.* 28: 1467-1475.

- HOLT, J.A. y COVENTRY, J. 1991. Nutrient cycling in Australian savannas. In: J Werner (ed). Savanna Ecology and Management. Black Kwell Scientific Publications pp 83-88.
- GONZÁLEZ, C., ABRIL, A. y ACOSTA, M. 1999. Efecto del fuego sobre la fertilidad edáfica y las comunidades microbianas en el Chaco Occidental Argentino. *Ecología Austral*. 9:3-10.
- JARSUN, B., GORGAS, J., BOSNERO, H., ZAMORA, E. y LOVERA, E. 1990. Provincia de Córdoba. In: Atlas de suelos de la República Argentina. 392-512.
- KEENEY, D. y NELSON, D. 1982. Nitrogen - Inorganic forms. In: AL Page, RH Miller and DR Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis*. AgronomyAm. Soc. Agron. Madison. WI. pp 643-698.
- KNAPP, A.K., BRIGGS, J.M., HARTNETT, D.C. y COLLINS, S.L. (eds). 1998. *Grassland Dynamics: Long-term Ecological Research in Tallgrass Prairie*. Oxford University Press.
- KUNST, C. 1996. Efectos del fuego sobre el suelo. En: INTA (Ed). *Fuego Prescripto*. Santiago del Estero. Argentina. pp 17-28.
- LORCH, H.J., BENCKIESER, G. y OTTOW, J.C.G. 1995. Basic methods for counting microorganisms in soil and water. In: A Kassem, and P Nannipieri (eds). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press. Harcourt Brace & Company Publishers. London U.K. pp 146-161.
- NEILL, C., CERRI, C., MELILLO, J.M., FEIGL, B.J., STEWUDLER, P.A., MORAES, J.F.L. y PICCOLO, M.C. 1998. Stocks and dynamics of soil carbon following deforestation for pasture in Rondonia, pp 9-28. In: R Lal; JM Kimble; E Levine & VA Stewart (eds.). *Soil processes and the carbon cycle*. CRC Press. Boca Raton, FL.
- NELSON, D.W. y SOMMER, L.E. 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. In: AL Page, RH Milles and DR Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Agron. Monogr.9. ASA and SSSA, Madison. WI. pp 570-574.
- O'LEAR, H.A., SEASTEDT, T.R., BRIGGS, J.M., BLAIR, J.M. y RAMUNDO, J.A. 1996. Fire and topographic effects on decomposition rates and N dynamics of buried wood in tallgrass prairie. *Soil Biol. Biochem.* 28: 323-329.
- PAUL, E.A. y CLARK, F.E. 1996. *Soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, San Diego.
- PRIETO, A., FERNANDEZ, M., VILLAR, M.C. y CARBALLAS, T. 1993. Short - term effects of a wildfire on the nitrogen status and its mineralization kinetics in an Atlantic forest soil. *Soil Biol. Biochem.* 25: 1657-1664.
- ROPER, M.M. y OPHEL-KELLER, K.M. 1998. Soil microflora as bioindicators of soil health. Pp.157-178 In: CE Pnakhurst; BM Doube & VV Gupta (eds). *Biological indicators of soil health*. CAB International, Wallingford.
- SCHOLES, R.J. y WALKER, B.H. 1993. *An African savanna*. Cambridge University Press. USA.
- SERTSU, S.M. y SANCHEZ, P.A. 1978. Effects of heating on some change in soil properties in relation to an Ethiopian land management practice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 940-944.
- SMITH, J., HALVORSON, J. y BOLTON, H. 1994. Spatial relationships of soil microbial biomass and C and N mineralization in a semiarid shrubsteppe ecosystem. *Soil Biol. Biochem.* 26: 1151-1159.
- WIENHOLD, B.J. y KLEMMENDSON, J.O. 1992. Effect of prescribed fire on nitrogen and phosphorous in Arizona Chaparral soil plant systems. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 6: 285-296.