

Dinámica de la fertilidad y de las poblaciones microbianas en suelos afectados por incendios en las sierras de Córdoba (Argentina)

Abril, A. y C. González

RESUMEN

Se evaluaron los cambios en parámetros de fertilidad y densidad microbiana en suelos de bosque serrano chaqueño manejados con fuego para favorecer el crecimiento de los pastizales con fines ganaderos. El área de estudio se ubicó en la Reserva Hídrica Provincial La Quebrada, de la provincia de Córdoba, Argentina (31° 05' S y 64° 28' O). Las mediciones se realizaron en dos sitios de iguales características ecológicas y de manejo, uno de los cuales soportó la quema de su vegetación. En cada sitio se colectaron muestras de suelo al finalizar el incendio y a los 30, 180, 360 y 720 días posteriores. Se encontró que la humedad edáfica y el contenido de materia orgánica disminuyeron en el sitio quemado, especialmente un año después del incendio, mientras que el contenido de nitratos aumentó. También en el sitio quemado disminuyeron todas las poblaciones microbianas, siendo las más afectadas las nitrificantes y amonificantes. Los resultados indican que las poblaciones microbianas edáficas pueden ser indicadoras del grado de impacto y de las posibilidades de recuperación de los suelos afectados por el fuego.

Palabras clave: bosque serrano, fuego, microorganismos edáficos, indicadores, fertilidad.

Abril, A. y C. González, 1999. Fertility and microbial dynamics in burned soils in sierras de Córdoba hills (Argentina). *Agriscientia* XVI: 63-70.

SUMMARY

Changes in soil fertility and microbial density and activity induced by the use of fire as a rangeland management practice in the Western Dry Chaco were studied. The site is located in the reserve "La Quebrada" of Córdoba Province, Argentina (31° 05' S and 64° 28' W). Two sites of similar ecological characteristics were selected for comparison: unburned and burned forest. Soil samples were taken immediately after fire and after 30, 180, 360 and 720 days. In the burned site, significant losses of soil moisture and organic matter content as well as an increase of N-NO₃ were observed. Soil microorganisms were strongly affected by fire, specially ammonifiers and nitrifiers, which suggest that microbial communities may represent suitable indicators to assess soil fertility changes and soil rehabilitation in burned forests.

Key words: Chaco forests, fire, soil microorganisms, indicators, soil fertility.

Abril, A. y C. González. Microbiología Agrícola. Departamento de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. CC. 509, 5000 Córdoba, Argentina. E-mail: aabril@a-gro.uncor.edu

INTRODUCCIÓN

La explotación ganadera está muy extendida en el Chaco Occidental Argentino y especialmente en los sectores de bosque serrano de la provincia de Córdoba. En la actualidad se podría afirmar que no existen sectores libres de ganado, a pesar de su escasa rentabilidad. Una de las principales causas de este problema sería el inadecuado manejo de los recursos forrajeros nativos. Dentro de ello se incluyen las prácticas de quemas periódicas del bosque serrano, con la finalidad de eliminar pastos improductivos y favorecer el rebrote primaveral.

Está ampliamente aceptado que en suelos como los de la Sierras de Córdoba, de topografía abrupta y escaso desarrollo, la destrucción de la cubierta vegetal por sobrepastoreo e incendios se identifica con un alto riesgo de erosión (Mc Nnabb & Swanson, 1990; Kutiel *et al.*, 1995; Carreira *et al.*, 1996). Sin embargo este efecto no se relaciona con la pérdida de productividad, a causa del buen rebrote de las pasturas a posterior del fuego. Por tal motivo se requiere un exhaustivo análisis del efecto del fuego sobre la fertilidad edáfica a mediano plazo a fin de establecer la posible relación entre la degradación de los suelos y la pérdida de productividad.

En la historia de los biomas del mundo, los incendios aparecen como un componente abiótico que actúa balanceando el equilibrio entre las especies (Bucher, 1982; Coutinio, 1982; Swaine *et al.*, 1992; Overby & Perry, 1996). El hombre utiliza el fuego para extinguir plagas, malezas, restos de desmontes, acelerar rebrotes para el ganado y aumentar la disponibilidad de nutrientes minerales en suelos empobrecidos. Por estos motivos, la mayor frecuencia de incendios tiene un origen antrópico y, en pequeña escala, son resultado de eventos naturales (Herrera *et al.*, 1978; Kunst, 1996).

Hay dos factores principales que contribuyen a la compleja respuesta del suelo frente a las quemas: el incremento de temperatura y el aporte de cenizas. Diversos autores relacionan a las cenizas resultantes de la oxidación violenta del combustible vegetal con el aumento de nutrientes a posterior del fuego, y mencionan a este motivo como causa de los incrementos en la producción de forraje (Kutiel & Shaviv, 1992; Marcos *et al.*, 1995). De este modo el fuego parece estar involucrado en problemas nutricionales al afectar el ciclo de los elementos; por su acción la materia orgánica es rápidamente mineralizada y el ciclo biológico de los nutrientes modificado (Coutinio, 1982).

Con frecuencia se indica que el sobrecalentamiento y la desecación superficial provocan modificaciones estructurales del suelo, afectando por lo

tanto la concentración de gases y humedad (O' Lear *et al.*, 1996; Vitousek *et al.*, 1997). Se menciona que el fuego altera la naturaleza física de los suelos, destacando la disminución de la porosidad total, plasticidad y elasticidad, lo que favorece la erodibilidad al aumentar la hidrofobicidad superficial (Swaine *et al.*, 1992; Forrest & Harding, 1994).

Por otra parte, la pérdida del escudo vegetal protector, como filtro frenante de la energía cinética de las gotas de lluvia, expone el suelo a la acción directa de los agentes erosivos, por lo que se generan importantes pérdidas del soporte edáfico (Sertsu & Sánchez, 1978; Duriscoe & Wells, 1982; Prieto *et al.*, 1993; Ulery & Graham, 1993).

En este contexto, los suelos de escaso espesor y poco desarrollo de las Sierras de Córdoba, al perder la vegetación por acción de fuegos recurrentes, quedan expuestos a insolación, acción del viento y escorrentías, ampliando las condiciones mecánicas de degradación de las pendientes, lo que profundiza la destrucción del Bosque Serrano Chaqueño (Herrera *et al.*, 1978; Beguet *et al.*, 1987).

Es evidente que todos los cambios mencionados deben afectar los componentes biológicos del suelo; sin embargo, es escasa la información referida a los efectos del fuego sobre las microbiocenosis y sus consecuencias (Serrasolsas & Khanna, 1995). Este aspecto es de suma importancia si se tiene en cuenta el rol relevante que desempeñan las poblaciones microbianas en la dinámica del ciclado de nutrientes y en el mantenimiento del equilibrio de las condiciones de fertilidad edáficas (Amaranthus & Trappe, 1993; Martín *et al.*, 1995; Silver *et al.*, 1996; Torres & Abril, 1996; Abril & Bucher, 1999; González *et al.*, 1998).

Los objetivos de este trabajo fueron; a) evaluar los cambios resultantes del fuego a lo largo de dos años, en cuanto a características de fertilidad y dinámica de las poblaciones edáficas relacionadas, b) analizar las implicancias de estos efectos sobre el manejo y la restauración del bosque serrano y c) establecer si las poblaciones microbianas pueden constituir un indicador viable para evaluar el grado de impacto y recuperación del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El sitio de estudio se estableció en la Reserva Hídrica Provincial La Quebrada, situada en el faldeo Oriental de las Sierras Chicas a unos 40 km al noroeste de la ciudad de Córdoba, Argentina (31° 05' S y 64° 28' O). Dicha reserva es representativa del Distrito Serrano de la Provincia Fitogeográfica Chaqueña Occidental (Cabrera, 1976).

El estudio se realizó en un sector ubicado a 750 msnm, sobre faldeos con pendientes de aproximadamente 45%. La vegetación está constituida por un bosque degradado de cocos (*Fagara coco*), molles (*Lithraea ternifolia*) y *Acacia caven*, acompañado por un pastizal ralo de gramíneas, especialmente de los géneros *Festuca* y *Stipa*. La zona presenta temperatura media anual de 13 °C, con máxima media de 19,2 °C y mínima media de 9,5 °C. Las precipitaciones son estivales, dentro de un rango de 700-800 mm anuales. Los suelos son litosólicos de formación incipiente, perfil A-AC-C y con alto porcentaje de arenas y rocas de hasta 20 cm de diámetro, dentro del perfil y en superficie (Vázquez *et al.*, 1979).

Diseño experimental

En julio de 1996, se quemó una amplia superficie de la Reserva, no pudiendo establecerse si el origen del fuego fue accidental o provocado. Dentro del área afectada, se estableció un sector quemado de aproximadamente una hectárea y uno no quemado, colindante con el anterior, con características similares en cuanto a suelo y vegetación. En cada sector se tomaron 10 muestras de suelo hasta 20 cm de profundidad, al azar, sobre una transecta de 200 m, en la diagonal de un lote de aproximadamente una hectárea. El primer muestreo se realizó en el momento de apagado el incendio y posteriormente a los 30, 180, 360 y 720 días del siniestro.

Determinaciones

Los parámetros químicos analizados fueron: humedad edáfica mediante peso seco, nitrógeno total por el método Kjeldhal (Apostolatos, 1984), nitratos

por el método potenciométrico (Keeney & Nelson, 1982), materia orgánica por el método de Walkley y Black (Nelson & Sommer, 1982) y pH. Las variables biológicas fueron: respiración edáfica por evolución de CO₂ en 7 días, (Alef, 1995) y número de bacterias por gramo de suelo, por el método del Número más Probable (Alexander, 1982), en medios específicos para los grupos: celulolíticos, amonificadores y nitrificadores y recuento en placa para fijadores de nitrógeno de vida libre (Döbereiner, 1980).

Evaluaciones estadísticas

El tratamiento estadístico de los datos se realizó mediante análisis de variancia, comparación de medias con prueba de Tukey y regresión y correlación lineal.

RESULTADOS

El sector quemado tras el incendio se presentaba cubierto de carbonilla y sin rastros de vegetación. Los escasos árboles de bajo porte estaban quemados e incluso seguían ardiendo en sus troncos y ramas más gruesas y el suelo bajo las canopias presentaba una considerable capa de brasas y cenizas. A los 30 días, el aspecto era similar y sólo después de las lluvias estivales se comenzaron a visualizar latifoliadas anuales y algunos rebrotes basales en cocos y *A. caven*. Los molles afectados no mostraron signos de recuperación hasta los dos años del incendio. El pastizal era escaso, predominando los rebrotes de *Festuca* spp quemadas.

Los suelos analizados eran muy poco profundos, con presencia de rocas a menos de 10-12 cm, con un

Tabla 1. Parámetros de fertilidad en los sitios quemado y no quemado durante un período de dos años. Q: sitio quemado; NQ: sitio no quemado. La flechas indican diferencias significativas entre sitio quemado y no quemado ($P < 0,05$).

	Tratamiento	Inicial	30 días	180 días	360 días	720 días
Humedad	Q.	2,9 ↑	1,4	1,7	6,1 ↑	2,8 ↑
Edáfica (%)	N-Q	9,0 ↓	1,5	1,9	14,3 ↓	7,2 ↓
pH	Q	7,1	7,7	7,7	7,4	6,9
	N-Q	6,8	7,3	8,1	6,9	7,4
Materia Orgánica (%)	Q	5,3	5,0	4,6	2,9 ↑	1,4 ↑
	N-Q	5,5	4,7	4,3	3,7 ↓	4,3 ↓
Nitrógeno Total (%)	Q	0,22	0,27	0,28	0,17	0,17
	N-Q	0,23	0,27	0,29	0,21	0,17
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	Q	9,1 ↑	18,1 ↑	18,3	16,3 ↑	14,9 ↑
	N-Q	12,1 ↓	14,1 ↓	17,3	13,8 ↓	13,2 ↓

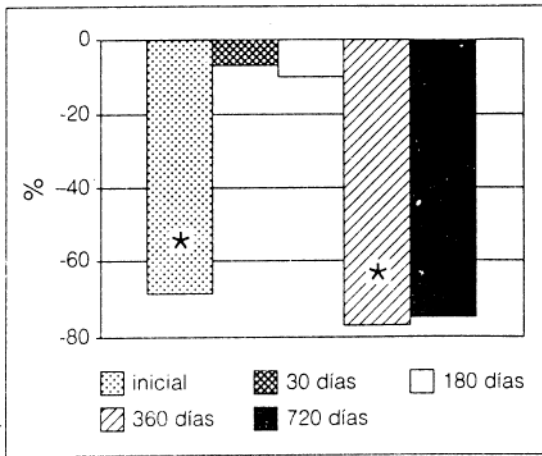


Figura 1. Dinámica de la humedad edáfica en suelos quemados. Valores expresados como porcentaje de la diferencia entre el sector no quemado y el quemado (* diferencia significativa $P < 0,05$).

fuerte componente de arena y materiales gruesos. El suelo del sector que no sufrió el efecto del fuego, se pudo caracterizar como neutro, con buen contenido de materia orgánica y nitrógeno total y moderada presencia de nitrógeno de nitratos (tabla 1).

Dinámica de los parámetros de fertilidad

La variaciones detectadas en las características químicas a causa del incendio se establecieron principalmente en cuanto al contenido de humedad, materia orgánica y nitratos. El pH y el contenido de nitrógeno total no fueron afectados significativamente durante los dos años de evaluaciones (tabla 1).

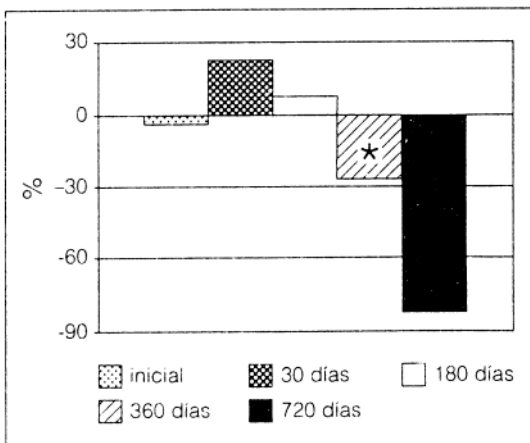


Figura 2. Dinámica de la materia orgánica en suelos quemados. Valores expresados como porcentaje de la diferencia entre el sector no quemado y el quemado (* diferencia significativa $P < 0,05$).

Inmediatamente después del incendio, se observó una pérdida significativa en el contenido de humedad, evidentemente fundamentada en la rápida evaporación por acción del calor (figura 1). Un efecto semejante se evidenció al año y a los dos años del ensayo, cuando el suelo totalmente falto de cobertura y sin vegetación por las condiciones invernales no retuvo la humedad de las escasas precipitaciones. Durante el período estival este efecto no fue significativo y las altas temperaturas afectaron tanto los sitios quemados como los no quemados.

Se observó una tendencia a mayores valores de materia orgánica principalmente a los 30 días en el sitio quemado (tabla 1). Estos valores estarían relacionados con la presencia de gran cantidad de material vegetal muerto, especialmente raíces y restos carbonosos depositados en la superficie, que se mantuvo hasta el comienzo de la temporada de lluvias. Al año y dos años después del incendio las diferencias de materia orgánica fueron significativas, correspondiendo los mayores valores al sitio no quemado (figura 2). Esto evidencia la interrupción en el retorno de carbono al suelo en los sectores donde se alteró el aporte de restos vegetales por efecto del fuego. Además hay que considerar los procesos de pérdidas de materia orgánica por escorrentía y viento y escasa capacidad de retención de los suelos con pendientes desprovistos de cobertura vegetal.

El contenido de nitratos (tabla 1) mostró diferencias significativas en favor del suelo no quemado en el primer muestreo. Esta pérdida inicial de nitratos en el suelo quemado pudo producirse por volatilización debido a altas temperaturas. No obs-

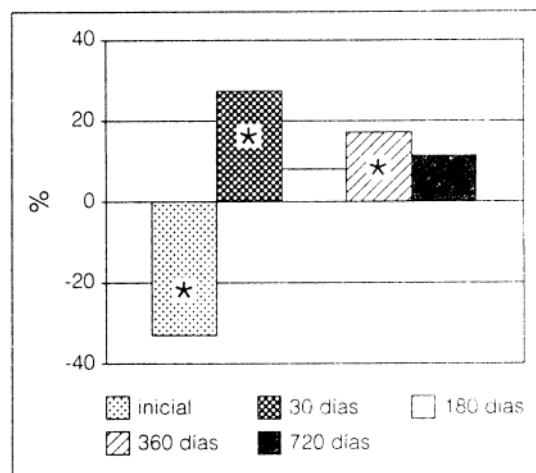


Figura 3. Dinámica del contenido de nitratos en suelos quemados. Valores expresados como porcentaje de la diferencia entre el sector no quemado y el quemado (* diferencia significativa $P < 0,05$).

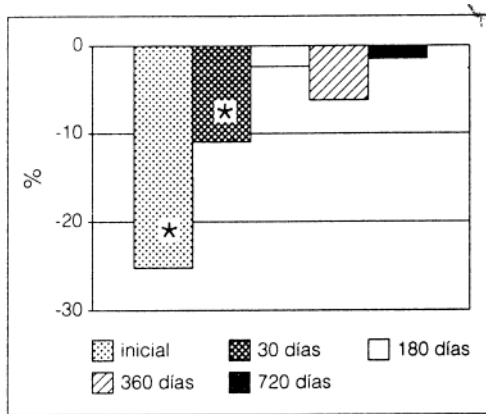


Figura 4. Dinámica de los organismos fijadores de N_2 en suelos quemados. Valores expresados como porcentaje de la diferencia entre el sector no quemado y el quemado (* diferencia significativa $P < 0,05$).

tante, a los 30 días el suelo quemado experimentó un aumento significativo en el contenido de nitratos que se mantuvo hasta el segundo año de evaluaciones. Es de destacar que las mayores diferencias se establecieron en los meses invernales cuando hay escasa pérdida por lixiviación y escorrentía, mientras que en verano las diferencias no fueron significativas (figura 3).

Estos aumentos en el contenido de nitratos a partir de los treinta días pudieron deberse a la liberación a partir de las cenizas, que se mantuvieron visibles en el suelo a lo largo de todo el período de la investigación, y además a la reducida asimilación por parte de la escasa vegetación.

Dinámica de las poblaciones microbianas

En general, las poblaciones microbianas edáficas se vieron muy afectadas por el efecto del fuego (tabla 2). Los organismos fijadores de N_2 disminuyeron en forma significativa en el primer y segundo muestreo, recuperando posteriormente valores semejantes al sitio no quemado (figura 4).

Los organismos que evidenciaron mayores pérdidas fueron las poblaciones de amonificadores y nitrificadores que mantuvieron valores significativamente más bajos hasta el final del estudio (figuras 5 y 6). Estos valores estuvieron correlacionados negativamente con el contenido de nitratos ($r = -0,887$), constituyendo un buen indicador de la alteración de la actividad nitrificadora por mecanismos de retroalimentación.

La población celulolítica sufrió pérdidas significativas en los primeros muestreos y posteriormente, si bien los valores fueron menores, no fueron significativos (figura 7). Estas diferencias responden a un efec-

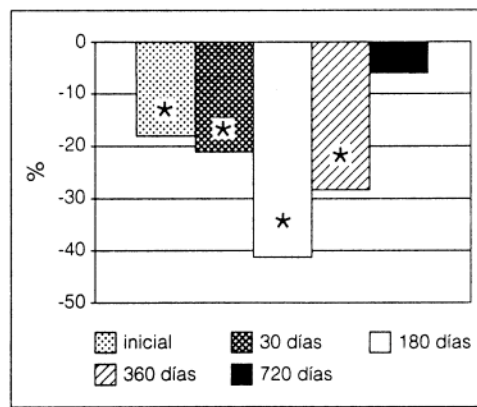


Figura 5. Dinámica de los organismos amonificadores en suelos quemados. Valores expresados como porcentaje de la diferencia entre el sector no quemado y el quemado (* diferencia significativa $P < 0,05$).

to directo del calor sobre estas poblaciones localizadas muy superficialmente en el suelo y a la pérdida del material celulósico en el momento del incendio.

La respiración del suelo no se vio significativamente afectada por el fuego (tabla 2). Estos resultados parecen contradecir los valores encontrados en los grupos microbianos estudiados. Tal vez existan poblaciones microbianas tolerantes al fuego que no fueron analizadas (probablemente relacionadas con la degradación de ácidos húmicos) y que serían las responsables de la producción de CO_2 en valores semejantes al sitio no quemado.

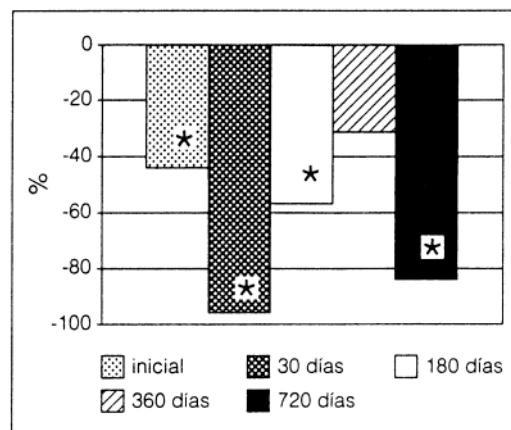


Figura 6. Dinámica de los organismos nitrificadores en suelos quemados. Valores expresados como porcentaje de la diferencia entre el sector no quemado y el quemado (* diferencia significativa $P < 0,05$).

Tabla 2. Poblaciones microbianas en los sitios quemado y no quemado durante un período de dos años. Q: sitio quemado; NQ: sitio no quemado. La flechas indican diferencias significativas entre sitio quemado y no quemado ($P < 0,05$)

Tratamiento		Inicial	30 días	180 días	360 días	720 días
Fijadores	Q	8,2	8,7	9,8	10,1	8,7
(log g ⁻¹)	N-Q	11,0	9,9	9,6	10,7	8,6
Amonificadores	Q	8,5	8,4	6,2	7,6	8,1
(log g ⁻¹)	N-Q	10,4	10,7	10,8	10,8	8,6
Celulolíticos	Q	2,3	3,2	5,8	4,5	4,4
(log g ⁻¹)	N-Q	4,6	5,1	5,9	4,6	4,6
Nitrificadores	Q	1,6	0,1	1,2	2,1	1,3
(log g ⁻¹)	N-Q	2,8	2,5	2,9	3,0	2,4
Respiración	Q	0,520	0,501	0,561	0,602	0,770
(mg CO ₂ g ⁻¹)	N-Q	0,670	0,602	0,643	0,598	0,823

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo no son del todo coincidentes con los mencionados por otros autores. Sertzu & Sánchez (1978) y Ulery & Graham (1993) mencionan alteraciones marcadas en el pH y pérdidas en el contenido de materia orgánica en suelos a posterior del incendio. Asimismo, observaciones realizadas por González *et al.* (1998) también establecen diferencias con lo observado en este trabajo, especialmente en lo que concierne a los aumentos de nitrógeno total de los suelos y a la baja del pH. Debemos suponer que estas diferencias son a causa de las

particularidades de cada ecosistema. Los trabajos anteriormente mencionados fueron realizados en suelos profundos, de bosques densos y de topografía plana.

Los suelos estudiados en nuestro caso tienen escasa vegetación superficial por las propias características del ecosistema y por la alta presión del pastoreo que soportan. Esto hace suponer que las temperaturas de los incendios fueron bajas y que la permanencia del fuego fue fugaz a causa del tipo de combustible, lo cual pudo visualizarse a través de la presencia de gran cantidad de carbonilla sobre el suelo, indicador de que los procesos de combustión no fueron completos. Este material carbonoso fue, quizás, el responsable de que no se detectaran disminuciones en el contenido de materia orgánica en los primeros muestreos, ya que por el tipo de metodología empleada, los valores de materia orgánica incluyen todo el carbono reducido del suelo y no exclusivamente el material humificado. Asimismo, la combustión incompleta hace que no se modifiquen sustancialmente la relación de iones en el suelo, responsable de los cambios de pH.

La disminución en el contenido de materia orgánica, pasado un año del incendio, es un claro indicador de la alteración de los procesos de humificación. En los sitios quemados, la alta presión ganadera que afecta a individuos sobrevivientes y rebrotes tiernos (Herrera *et al.*, 1978; Beguet *et al.*, 1987) no permite la recuperación de la vegetación original y reduce en gran medida el retorno de restos vegetales. Esto lleva en el mediano plazo a la disminución paulatina de la reserva orgánica del suelo, tan importante por su rol en el mantenimiento y recuperación de la fertilidad.

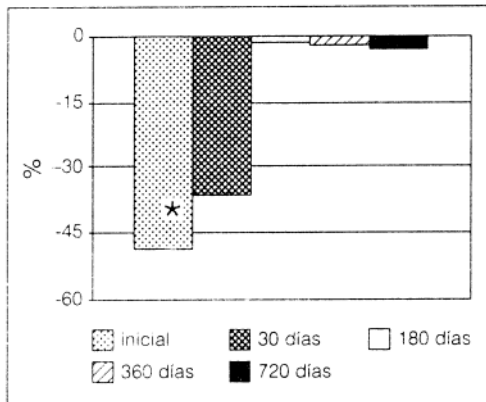


Figura 7. Dinámica de los organismos celulolíticos en suelos quemados. Valores expresados como porcentaje de la diferencia entre el sector no quemado y el quemado (* diferencia significativa $P < 0,05$).

Según los estudios realizados por González *et al.*, (1998) en otro sector de bosque chaqueño, el aumento en el contenido de N total fue muy marcado y atribuible al aporte de la vegetación quemada. En el sitio estudiado puede suponerse que no existió un adecuado retorno de nitrógeno por esta vía a causa de la escasez de vegetación arbórea. También puede suponerse que, al ser un fuego superficial y de baja temperatura, los sistemas radiculares son poco afectados, por lo cual tampoco constituyen material en descomposición para provocar un aumento de esta variable.

Los resultados referidos al contenido de nitratos fueron coincidentes con numerosos autores (Beguet *et al.*, 1987; Martín *et al.*, 1995; Vitousek *et al.*, 1997). El aumento en la concentración de nitratos justifica la respuesta que espera el ganadero de la práctica de quema y fundamenta la realización de fuegos periódicos. Estos aumentos que suceden a la rápida mineralización de la materia orgánica por el fuego y a la aceleración abiológica del ciclo de nutrientes, sustentan ampliamente el crecimiento y desarrollo de la nueva cubierta vegetal y por lo tanto la práctica recurrente del fuego (Kunst, 1996).

Sin embargo, no debe dejar de considerarse que este efecto positivo del fuego sobre el crecimiento del forraje tiene un límite establecido por el retorno del elemento en forma orgánica y por las condiciones climáticas y topográficas que provocan las pérdidas del nitrógeno soluble del suelo. En las sierras de Córdoba, con terrenos en pendiente, lluvias torrenciales concentradas en verano y escasa recuperación de la vegetación, podemos suponer que este efecto positivo será cada vez menos eficiente.

En coincidencia con lo mencionado por Serrasolas & Khanna (1995), todas las poblaciones microbianas estudiadas sufrieron el efecto del aumento de la temperatura por el fuego. En suelos tan superficiales y ligeros como los de La Quebrada, los microorganismos están muy expuestos a los cambios ambientales, lo que se evidenció en nuestros resultados.

La marcada alteración de la dinámica de las poblaciones del ciclo del nitrógeno está indicando una interferencia en los procesos naturales de mineralización. En nuestros resultados se pudo establecer, como mencionan Paul & Clark (1989), que el aumento de la cantidad de nitrógeno mineral afectó la actividad de los organismos responsables de la nitrificación.

Muchos pueden ser los efectos residuales post fuego que, en forma concomitante, impidan a los microorganismos edáficos retornar a los valores originales a los dos años después del incendio. La aparición de formas más resistentes y mutantes como resultado del fuego no parecen imposibles; a este respecto Rennie (1993) ha señalado que el calor y

otros factores de estrés ambiental incrementan la tasa de transposición de genes.

La alteración en las poblaciones microbianas tendría marcada influencia sobre la recuperación de este ambiente, haciéndola más lenta en el tiempo, al limitar el ciclado normal de los nutrientes y la materia orgánica. Por este motivo se pueden considerar a los diferentes grupos microbianos indicadores, tanto del grado de impacto como de la restauración de ambientes afectados por el fuego (Dilly & Blume 1998).

Finalmente vale cuestionar si estos ecosistemas pueden convertirse en dependientes del fuego a perpetuidad, ya que las alteraciones sobre los grupos microbianos y el ciclo de nutrientes, conducirán a intensificar la utilización de ese elemento como única alternativa para el crecimiento de los pastizales, siempre que los agentes atmosféricos, lluvia y viento no arrastren las últimas reservas del pool de nutrientes de estos sistemas productivos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado mediante convenio con la Secretaría Ministerio de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de la Provincia de Córdoba y ha sido subsidiado por el Consejo de Investigaciones de la Provincia de Córdoba y la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A. and E.H. Bucher, 1999. The effects of overgrazing on soil microbial community and fertility in the dry savannas of Argentina. *Applied Soil Ecology*, 357:1-9
- Alef, K., 1995. Soil Respiration. In: *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. A. Kassem and P. Nannipieri. (eds.). Academic Press. Harcourt Brace & Company Publishers, London U.K., pp. 214-219.
- Alexander, M., 1982. Most probable number. Method for microbial population. In: *Methods of Soil Analysis*. A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.). Am. Soc. Agron, Madison. WI., pp 815-820.
- Amaranthus, M.P. and J.M. Trappe, 1993. Effects of erosion on ecto- and VA-mycorrhizal inoculum potential of soil following forest fire in southwest Oregon. *Plant and Soil*, 150:41-49.
- Apostolatos, G., 1984. Technical note: A rapid inexpensive procedure for determination of nitrogen in plant materials. *Journal of Food Technology*, 1: 639-642.
- Beguet, H., S. D'Andrea y N. Montoni, 1987. Influencia del fuego en un pastizal natural de las Sierras de Comchingones. 1as Jornadas Nacionales de Zonas Áridas y Semiáridas. Santiago del Estero, pp: 332-333.
- Bucher, E.H., 1982. Chaco and Caatinga- South american arid savannas, woodlands and thickets. In: *Ecology of*

- Tropical Savannas. B.J. Huntley and B.H. Walker (eds.). Springer-Verlag, Berlin, pp: 48-794.
- Cabrera, A., 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. 2º Edición, 2: 1-85.
- Carreira, J.A., J.R. Arevalo and F.X. Niell, 1996. Soil degradation and nutrient availability in fire-prone mediterranean shrubland of southerastern Spain. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 10: 53-54.
- Coutinho, L.M., 1982. Ecological effects of fire in brazilian cerrado. In: *Ecology of Tropical Savannas*. B.J. Huntley and B.H. Walker (eds.). Springer-Verlag, Berlin, pp. 273-291.
- Dilly, O. and H.P. Blume, 1998. Indicators to assess sustainable land use with reference to soil microbiology. In: *Towards Sustainable Land Use*. H.P. Blume, H. Eger, E. Fleischhaue, A. Hebel, C. Reij and K.G. Steiner (eds). *Advances in Geocology* 31. ISSSN. Catena Verlag GMBH. Reiskirchen, pp. 29-36.
- Döbereiner, J., 1980. Forage grasses and grain crops. In: *Methods for evaluating biological nitrogen fixation*. F.J. Bergersen (ed). Willey & Sons, UK, pp. 535-555.
- Duriscoe, D. and P. Wells, 1982. Effects of fire on certain physical properties of selected chaparral soils. In: *Proc. Synp. Dynamics and Management of Mediterranean-type Ecosystem*. CE. Conrad and W.C. Oechel (eds). Berkeley, pp. 594.
- Forrest, C.L. and M.V. Harding, 1994. Erosion and sediment control: preventing additional disasters after the Southern California fires. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49: 535-541.
- González, C, A. Abril y M. Acosta, 1998. Efecto del fuego sobre las comunidades microbianas y la fertilidad edáfica en el Chaco Occidental Argentino. *Ecología Austral* (en prensa).
- Herrera, M., M. Bertran, F.M. Galera, R. Luti y M. Menghi, 1978. Incendio y pastoreo en estepas de altura de las Sierras Chicas de Córdoba. *Ecología*, 3: 95-99.
- Keeney, D. and D. Nelson. 1982. Nitrogen - Inorganic forms. In: *Methods of Soil Analysis*. Agronomy. A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.). Am. Soc. Agron. Madison, WI, pp. 643-698.
- Kunst, C., 1996. Efectos del fuego sobre el suelo. En: *Fuego Prescripto*. INTA (ed), Santiago del Estero, pp. 17-28.
- Kutiel, P. and A. Shaviv, 1992. Effects of soil type, plant composition and leaching on soil nutrients following a simulated forest fire. *Forest Ecology and Management*, 53: 329-343.
- Kutiel, P., H. Lavee, M. Segev and Y. Benyamini, 1995. The effect of fire-induced surface heterogeneity on rainfall-runoff-erosion relationships in an eastern Mediterranean ecosystem, Israel, *Catena*, 25: 77-87
- Marcos, E., P. Alonso, R. Tarrega and E.L. Calabuig, 1995. Temporary changes of the edaphic characteristics during the first year of postfire regeneration in two Oak Groves. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 9: 289-297
- Martín, A., J.F. Gallardo and Y.S. Regina, 1995. Interaction between litter and soil epipedons in forest ecosystems of the Sierra de Gata Mountains, Province of Salamanca, Spain. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 9: 299-305.
- Mc Nabb, D. and F. Swanson, 1990. Effects of fire on soil erosion. In: *Natural and prescribed fire in Pacific Northwest Forest*. J.D. Walstad, S.R. Radosevich & D.V. Sandberg (eds). Oregon, pp. 159-173.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommer, 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: *Methods of Soil Analysis*. A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.). Am. Soc. Agron. Madison, WI, pp. 539-579.
- O'Lear, H.A., T.R. Seastedt, J.M. Briggs, J.M. Blair and R.A. Ramundo, 1996. Fire and topographic effects on decomposition rates and N dynamics of buried wood in tallgrass prairie. *Soil Biol. Biochem*, 28: 323-329.
- Overby, S.T. and H.M. Perry, 1996. Direct effects of prescribed fire on available nitrogen and phosphorus in an Arizona chaparral watershed. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 10:347-357.
- Paul, E.A. and F.E. Clark, 1989. *Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, Inc., San Diego, pp. 275.
- Prieto, A., M. Fernández; M.C. Villar and T. Carballas, 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.
- Rennie, J., 1993. Los nuevos giros del ADN. *Investigación y Ciencias*, 200: 68-75.
- Serrasolsas, I. and P. Khanna. 1995. Changes in heated and autoclaved forest soils of SE Australia. I. Carbón and Nitrogen. *Biogeochemistry*, 29: 3-24.
- Sertsu, S.M. and P.A. Sánchez, 1978. Effects of hearting on some change in soil properties in relation to an Ethiopian land management practice. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 940-944.
- Silver, W., S. Brown and A. Lugo, 1996. Biodiversity and biogeochemical eyeles. In: *Biodiversity and Ecosystem Processes in Tropical Forest*. Orians, Dirson, Cushman (eds). Springer- Verlag, Berlin, pp. 50-67.
- Swaine, M.D., W.D. Hawthorne and T.K. Orgle, 1992. The effects of fire exclusion on savanna vegetation at Kpong, Ghana. *Biotropica*, 24: 166-172.
- Torres, P. y A. Abril, 1996. Dinámica microbiana del suelo en un desmonte selectivo del Chaco Árido Argentino. *Ciencia del Suelo*, 14: 30-36.
- Ulery, A.L. and R.C. Graham, 1993. Forest fire effects on soil color and texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57 :153-140.
- Vázquez J.B., R.A. Miatello y M. Roque, 1979. *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Banco Provincia de Córdoba (ed.). Córdoba, pp. 464.
- Vitousek, P.M., C.J. Aber, R.W. Howarth, G.E. Likens, P.A. Matson, D.W. Schindler, W.H. Schlesinger and G.D. Tilman, 1997. *Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Causes and Consequences*. *Issues in Ecology*. Ecological Society of America, pp. 1-15.