

# Efectos del fuego sobre el suelo

La Lic. (Mg.) M. Aurora Lazzari es Profesora Titular de la Universidad Nacional del Sur e Investigadora del CERZOS (CONICET).  
Contacto: [alazzari@coba.edu.ar](mailto:alazzari@coba.edu.ar)

**El fuego es un agente que actúa modificando el ambiente y cumple un papel relevante en los ecosistemas, no sólo como una fuerza destructiva sino también como una herramienta de manejo.**

**L**os incendios naturales se producen cuando coinciden ciertas condiciones climáticas y de la vegetación. Algunos autores consideran al fuego como una de las fuerzas naturales que más ha influido en la historia y biología de las comunidades vegetales. Solamente las regiones con escasísima precipitación (110 mm o menos) han estado libres de la ocurrencia de fuegos naturales, debido a la carencia de combustibles finos.

El fuego natural brinda estabilidad a ciertos ecosistemas, a través de la selección de especies vegetales. Pero esta selección es, algunas veces, destructiva del ambiente hasta el punto de no recuperarse la vegetación original y ser reemplazada por otra degradada, con la consecuente aparición de suelos erosionados.

Evaluaciones científicas realizadas en los últimos sesenta años han indicado, a su vez, el uso potencial del fuego en limpieza de tierras, quema de rastrojos, prácticas forestales y manejo de vegetación para incrementar el área sujeta al pastoreo, siempre y cuando las mismas se realicen en forma controlada.

En la región sur del Caldenal, por ejemplo, el sobrepastoreo y la reducción de la frecuencia de ocurrencia de fuegos naturales ha favorecido un aumento de especies leñosas y de

gramíneas de escaso valor forrajero. Allí se ha determinado que los fuegos controlados reducen la densidad y/o cobertura de plantas leñosas arbustivas y pastizales indeseables, evitándose a su vez la ocurrencia de fuegos naturales de características a veces catastróficas. El problema es que muchos productores de la zona, convencidos de que el fuego aumenta la oferta forrajera, queman sistemáticamente sin ningún tipo de control y/o asesoramiento idóneo.

La mayor evidencia post-fuego se observa en la vegetación, ya que la biomasa aérea es total o parcialmente destruida. Sin embargo, aunque el suelo es un factor dominante en determinar la distribución y productividad de las comunidades vegetales, los datos disponibles relativos a los efectos del fuego sobre el suelo son limitados, en especial aquéllos relacionados con la disponibilidad de los nutrientes.

Las preguntas más comunes que el especialista en suelos se postula son: ¿Cuáles son los efectos del fuego sobre las propiedades del mismo? Si algunos efectos fueran temporales, ¿cuándo se vuelve al estado estacionario? En caso de que el área esté cubierta de vegetación mixta, ¿cómo afectará el fuego a cada sitio de vegetación?, ¿cuál sería la profundidad de suelo afectada por el fuego? Las respuestas dependerán de muchas variables. Entre ellas, el calentamiento del suelo y la deposi-

ción de cenizas. Ambos componentes varían de acuerdo a la cantidad y calidad del combustible quemado, las características del fuego, el clima durante y después del fuego, las condiciones del suelo, el tiempo transcurrido desde el episodio, etc. En la Tabla 1 se aprecian los cambios que se originan en los componentes del suelo y material de plantas como consecuencia del calentamiento a distintas temperaturas.

## Metodologías en estudios suelo-fuego

La variación espacial de los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo es muy amplia. Por otro lado, los árboles, arbustos y pastizales proporcionan un material combustible que varía en dimensión, forma, flamabilidad, contenido de humedad y distribución espacial. A su vez, los tiempos de residencia del fuego sobre la superficie del suelo son diferentes según que el material vegetal sea un árbol, un arbusto o un pastizal, y parte del combustible puede permanecer sin consumirse después del fuego. Todo esto hace dificultosa la medición e interpretación de los cambios inducidos por el fuego en las propiedades del suelo, e indica la complejidad del sistema a estudiar y, consecuentemente, de los enfoques metodológicos, que pueden conducir a interpretaciones conflictivas respecto de la acción del fuego sobre el suelo.

	T (°C)	Efecto sobre el suelo
▲ Cambios físicos	> 1200	Volatilización del Ca
	950	Minerales de arcilla convertidos a distintas fases.
	600	Máximas pérdidas de K y P. Producción de ceniza fina, orgánicamente unida a cationes que forman óxidos.
	540	Queda poco nitrógeno residual Queda poco carbono.
	420	Pérdida de agua hidroxilica de minerales de arcilla.
	400	Carbonización de materia orgánica.
Cambios químicos	300	Máxima liberación de N-aminoácidos.
		Comienzan pérdidas de S y P.
		Destilación y carbonización de residuos orgánicos.
	200	Carbonización de materia orgánica. Hidrofobicidad causada por destilación de sustancias volátiles.
		Comienza pérdida de N.
	125	Esterilización del suelo.
	110	Pérdida de agua adsorbida
70	Comienza producción de amonio del suelo.	
Cambios en la actividad biológica.	60	Alta mineralización de nitratos. Desnaturalización de proteínas.
	50	Esterilización suave debido a pérdidas de agua.
	37	Máxima estimulación de los microorganismos del suelo
	< 25	Temperatura normal del suelo.

Tabla 1. Cambios en suelos y material de plantas después del calentamiento a varias temperaturas (Walker *et al.*, 1986)

Para estudiar esa acción debe darse especial atención a la selección del sitio, a las técnicas de extracción de muestras, a los parámetros a medir, etc. Una metodología es establecer las condiciones del estado de referencia o estacionario, donde el fuego no ha tenido lugar durante años. Mediante muestras extraídas inmediatamente después de quemar y al cabo de períodos de tiempos previamente establecidos, podrá conocerse el impacto reciente del fuego sobre el suelo respecto al estado de referencia y la evolución de las propiedades evaluadas a través del tiempo transcurrido.

El tipo de combustible y el grado de combustión determinan la composición y cantidad de cenizas producidas por el fuego, cuyo efecto directo más importante sobre el suelo es la entrada de nutrientes; el efecto indirecto podría ser el incremento de los procesos que conducen a la

mineralización de la materia orgánica favoreciendo el crecimiento posterior de las plantas. De manera que, según los objetivos del estudio, es una técnica generalizada analizar las cenizas separadas del suelo, ya sean recogidas directamente del área bajo estudio u obtenidas en el laboratorio. El término "cenizas" se usa aquí para señalar el material de naturaleza no enteramente mineral, depositado después de la quema de la vegetación y que ennegrece la superficie del suelo.

#### El suelo en el estado de referencia

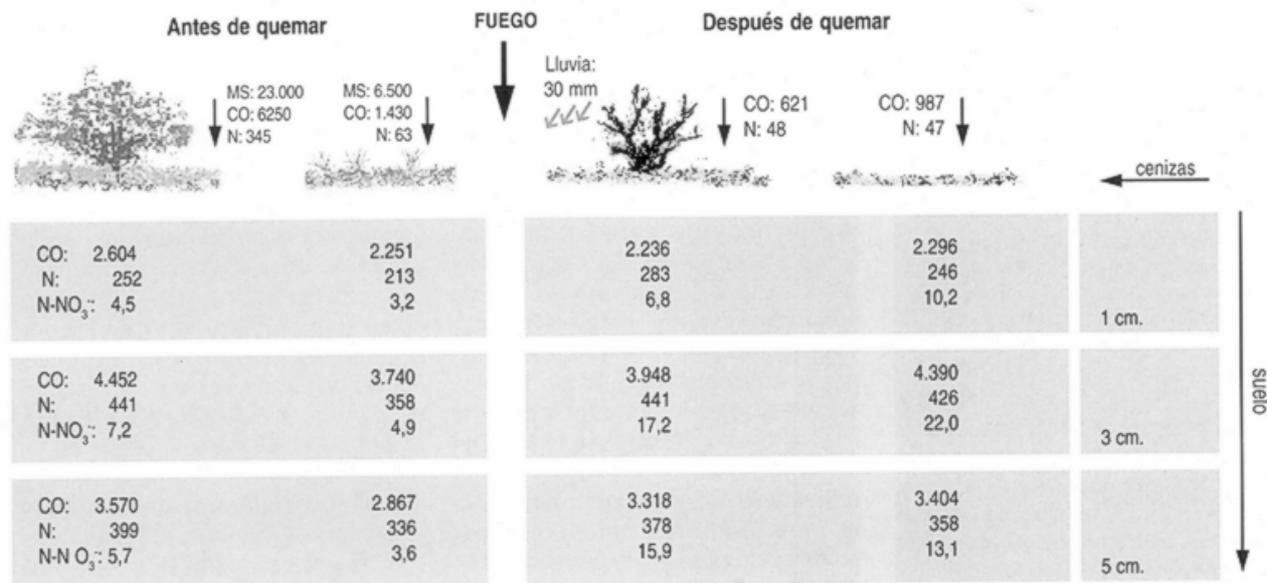
En 1989 se estableció una clausura en el sur del Caldenal, en un área no quemada espontáneamente durante 25 años y ubicada al SE de la provincia de La Pampa, departamento de Caleu-Caleu (38°45'S, 63°45'O). Allí, personal docente-investigador del Departamento de Agronomía realizó numerosos estudios relativos a los efectos de que-

mas controladas sobre la vegetación. Aquellos referidos al suelo demostraron que en el "estado de referencia", bajo la vegetación leñosa se encuentra mayor concentración de carbono orgánico (CO) y azufre total (S), comparado con las áreas adyacentes de pastos naturales. A su vez, se comprobó que las especies leñosas acumulan mayor cantidad de nitrógeno (N) en el suelo subyacente (Fig. 1) y parecen ser más efectivas en mantener la disponibilidad de este nutriente, dado que allí se encontraron también mayores concentraciones de N inorgánico (nitratos y amonio), fósforo extraíble ( $P_{ext}$ ) y azufre disponible ( $S_{dis}$ ). Las diferencias entre estos dos sitios de vegetación pueden atribuirse a diferencias en la cantidad y calidad de los residuos orgánicos acumulados bajo las distintas especies. Es decir, la mejor calidad de suelo bajo los arbustos leñosos estaría relacionada con la naturalmente lenta degradación del mantillo que generan (los residuos de pasturas, en cambio, se degradan rápidamente), y con la naturaleza leguminosa de algunos de ellos, constituyéndose así en una fuente inagotable de nutrientes totales y disponibles para el suelo.

Cálculos adicionales demostraron que en los 5 cm superficiales de suelo se concentra la mayor riqueza de nutrientes de todo el horizonte A (16 cm), esto es el 60% del CO, el 68% del N y el 75% del  $P_{ext}$ . O sea que el manejo de estos frágiles suelos debe orientarse a la conservación de esos primeros centímetros.

#### El suelo y el fuego

*Efectos inmediatos del fuego:* según la intensidad del fuego, sus efectos sobre el suelo pueden ser inmediatos. El estudio en el sur del Caldenal reveló que una quema controlada, que elevó la temperatura sobre la superficie del suelo a ca. 500°C, no ocasionó cambios inmediatos en los niveles de CO, N y S del suelo superficial en ninguno de los dos sitios de vegetación (ver Fig. 1). Sólo el Pt aumentó inmediatamente después de quemar, en el primer centímetro de suelo bajo las leñosas, por



**Figura 1.** Esquema de los efectos de la primera quema sobre el carbono (C) y nitrógeno (N) totales, y la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> del suelo (0-1 y 1-3 cm de profundidad), bajo la vegetación leñosa y herbácea del sur del Caldenal. Los contenidos de CO y N de la materia seca (MS) acumulada y de sus cenizas se obtuvieron de Sánchez y Lazzari (1999). Todos los datos se dan en kg ha<sup>-1</sup>.

efecto de las cenizas. O sea que, en general, las cantidades de estos elementos adicionados al suelo en forma de residuos parcialmente combustiónados, o fueron muy pequeñas en relación a las respectivas cantidades de reserva que se encuentran en el mismo, o sólo alcanzaron a balancear las pérdidas ocurridas desde el suelo.

Puede decirse, entonces, que el suelo del sur del Caldenal se encuentra en un estado estacionario alcanzado a través de un largo período de tiempo y a un ritmo muy lento, lo que lo hace bastante resistente al efecto de impactos de corta duración.

El panorama fue distinto respecto a la disponibilidad de nutrientes. Por ejemplo, la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> bajo los pastizales aumentó 300 veces su valor en el primer centímetro de suelo y 450 veces en la profundidad 1-3 cm. Los nutrientes minerales y compuestos orgánicos aportados por las cenizas posiblemente estimularon el crecimiento microbiano, favorecido esto por una lluvia de 30 mm ocurrida después de quemar

(Fig. 1). El incremento bajo leñosas no fue inmediato ni tan espectacular, pero más perdurable en el tiempo (ver Fig. 2), debido a que sus componentes son más resistentes a la descomposición y mineralización que los residuos de herbáceas. Esto puede mejorar el desarrollo de las pasturas, aunque no por mucho tiempo (más adelante).

#### Efectos no inmediatos del fuego

El beneficio de la quema no siempre se detecta inmediatamente después de quemar. Algunos nutrientes totales se ven beneficiados más a largo plazo, como los incrementos de N y S de ambos sitios de vegetación en el Caldenal, detectados al año de la quema. También el fuego, a través de sus efectos directos e indirectos, habría favorecido la descomposición de los residuos orgánicos superficiales y habría liberado lentamente las formas disponibles de los elementos totales. De allí, la máxima disponibilidad de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> observada al año de efectuada la quema, bajo las especies leñosas, como se muestra en la Fig. 2.

#### Vuelta al estado estacionario

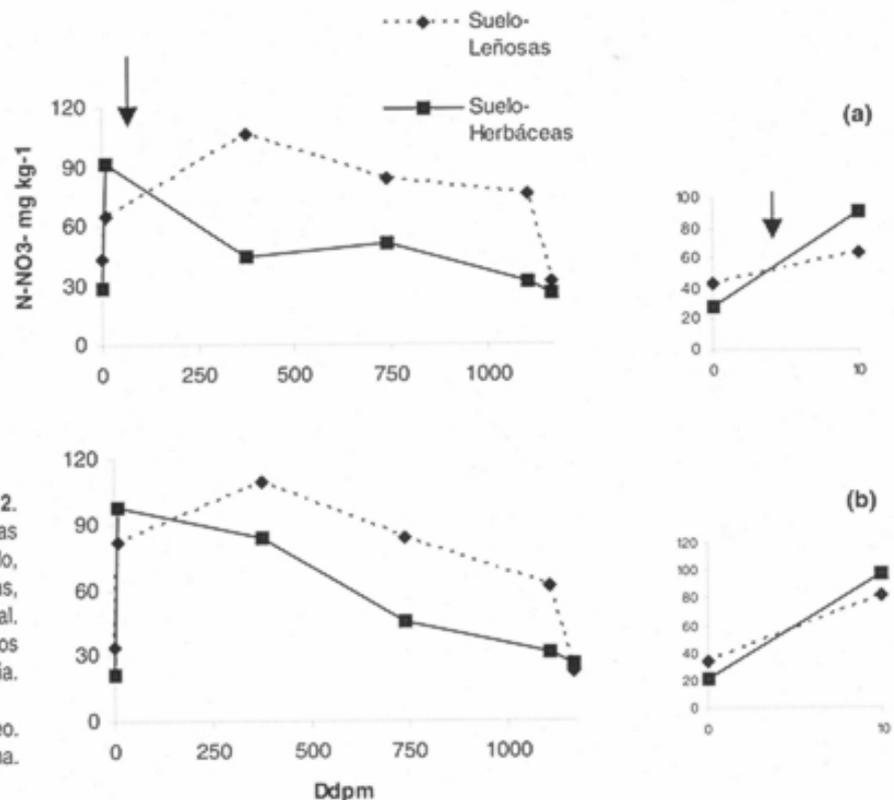
Cualesquiera sean los efectos de la quema de la vegetación, con el tiempo se alcanzará nuevamente el estado estacionario. En el sur del Caldenal, entre uno y tres años luego de la quema todas las propiedades químicas estudiadas retrocedieron a sus valores respectivos en el estado estacionario. Por ejemplo, el aumento inmediato de la CIC registrado bajo las leñosas desapareció al año de efectuada la quema. Pero, en la mayoría de los casos, ese retorno fue más rápido en el sitio de pastizales, como el caso del N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. La rapidez de este retorno indica el carácter no conservativo del fuego como agente mineralizante. Sólo el S se mantuvo más alto en ambos ambientes hasta los tres años después de la quema.

#### Efectos de una segunda quema

Al cabo de tres años de la primera, una segunda quema controlada de características muy suaves, en general no afectó las propiedades químicas estudiadas. En particular,

**Figura 2.**  
Cronosecuencia de  $N-NO_3^-$  del suelo a las profundidades (a) 0-1 y (b) 1-3 cm de suelo, bajo especies leñosas y herbáceas, en el sur del Caldenal.  
A la derecha: magnificación de los diez primeros días de la experiencia.

Ddpm: Días después del primer muestreo.  
↓ Indica quema.



si bien favoreció un aumento inmediato de N disponible en el suelo, la quema de las especies herbáceas promovió pérdidas de N total del suelo, y de aquellas formas de N orgánico que son las más susceptibles a la mineralización, o sea las que más aportan N disponible para las plantas.

#### Efecto benéfico de las cenizas

Sobre la base de la cobertura de arbustos y especies herbáceas del área bajo estudio del Caldenal, se estimó que el suelo pudo haber recibido hasta ca. 3.000 y 700 kg ha<sup>-1</sup> de cenizas ocasionadas por la combustión a 400°C de mantillo y a 300°C de pastos naturales, respectivamente. Si sólo se hubiera quemado el mantillo bajo los arbustos por un lado, y los pastos naturales por el otro, habría existido un aporte de 804 y 184 kg CO ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

La relación C/N resultó ser mayor en las cenizas, especialmente en aquellas derivadas de la quema de pasturas, lo que asegura una mayor probabilidad de inmovilización por los microorganismos del suelo cuando éstas se incorporen al mismo.

La combustión de aquellos materiales vegetales produjo pérdidas de N que oscilaron alrededor del 42%. A pesar de ello, el aporte de las cenizas pudo representar una fertilización nitrogenada de ca. 38 kg N ha<sup>-1</sup> por la quema del mantillo de leñosas, y de ca. 6 kg N ha<sup>-1</sup> por la de los pastizales. Este suave efecto benéfico podría anularse si la temperatura de combustión fuera mayor, debido a las mayores pérdidas desde el material vegetal.

#### Consideraciones finales

El uso del fuego implica tanto efectos benéficos para el suelo como pérdidas irreparables. En el caso particular del Caldenal, es importante destacar que los nutrientes que se pierden durante un fuego provienen de la parte más lábil del capital de nutrientes del ecosistema, o sea mantillo y suelo superficial. De manera que una práctica de este tipo debe ser supervisada por personal idóneo, recomendándose estricto control post-fuego no sólo de la vegetación sino también del suelo, de toda área natural que se desee quemar.

#### Agradecimiento

La autora agradece al Dr. Roberto Bóo, Profesor Investigador del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, por haber facilitado la realización de esta experiencia en áreas seleccionadas para sus estudios referidos a los efectos de quemadas controladas sobre la vegetación del sur del Caldenal.

#### Bibliografía

- Busso, C. 1997. Towards an increased and sustainable production in semi-arid rangelands of central Argentina: Two decades of research. *J. Arid Environm.* 36: 197-210.
- Castelli, L. y A. Lázzari. 2003. Impact of fire on soil nutrients in central semiarid Argentina. *Arid Land Res. Manage.* 16: 349-364.
- Sánchez, J. y A. Lázzari. 1999. Impact of fire on soil nitrogen forms in central semiarid Argentina. *Arid Soil Res. Rehabil.* 13: 81-90.
- Walker, J., R. J. Raison y P. W. Khama. 1986. Fire. En: Russell and Isbell (ed.), *Australian soils. The human impact*, pp. 185-216, University of Queensland Press, St. Lucia.