


FUEGORED

 Red temática nacional
 Efectos de los Incendios
 Forestales sobre los Suelos

Efectos del fuego en el suelo

 Ficha técnica
 FGR2013/03

EFFECTOS DEL FUEGO SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Autor

- **Jesús Notario del Pino**
 E-mail: jnotario@ull.es
 Departamento de Edafología y Geología, Universidad de La Laguna, Tenerife, España

Coordinadores

- **Antonio Jordán**
 Universidad de Se villa
- **Lorena M. Zavala**
 Universidad de Sevilla
- **Artemi Cerdà**
 Universitat de València
- **Jorge Mataix-Solera**
 Universidad Miguel Hernández
- **José A. González-Pérez**
 Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (CSIC)

■ El suelo es un medio químicamente activo, debido a las propiedades de sus componentes (minerales y orgánicos, junto a los microorganismos que viven en él). La energía calorífica liberada durante un incendio altera estos componentes, y por tanto las propiedades químicas del suelo. En esta ficha se explican sucintamente los aspectos más relevantes del tema.

Además de consumir la cubierta vegetal y el estrato de hojarasca superficial (combustibles), el fuego transfiere masivamente calor al suelo, bien por conducción, radiación o convección (Neary et al., 1999). Ello supone:

- Volatilización de algunos componentes a la atmósfera.
- Destilación y traslocación de sustancias orgánicas procedentes del combustible.
- Esterilización parcial del suelo.
- Modificaciones estructurales en minerales, especialmente de la fracción arcilla.
- Combustión de la materia orgánica del suelo.

La volatilización genera compuestos gaseosos, siendo el caso más simple la evaporación de agua del suelo. La combustión produce además CO y CO₂ (hasta el 97% bajo vegetación herbácea, o el 85% en ecosistemas forestales). La pérdida de compuestos gaseosos también incluye otros constituyentes de la materia orgánica, como el N o el S, convertidos en óxidos gaseosos (NO_x, SO₂) por encima de los 200-250 °C (DeBano et al., 1998).

La destilación de sustancias vaporizadas en las etapas iniciales de la combustión es el paso siguiente a la pirólisis (es decir, la ruptura inducida por el calor de macromoléculas que componen los tejidos vegetales muertos o en descomposición). Una parte de las sustancias destiladas son gases muy inflamables que se oxidan casi inmediatamente, generando las llamas. Otra parte migrará en profundidad, en contra del gradiente de temperatura, hasta enfriarse y condensarse, llegando a recubrir las


 Licencia Creative Commons:
 Reconocimiento-NoComercial-
 SinObraDerivada

superficies de las partículas minerales, lo que puede dar lugar a fenómenos de repelencia al agua (Doerr et al., 2000).

La muerte de microorganismos e hifas de hongos, causada por la deshidratación y las altas temperaturas esteriliza parcialmente el suelo (Acea & Carballas, 1996), permaneciendo en él ciertas formas resistentes al calor (esporas o quistes). Ello afecta indirectamente a la química de los suelos quemados, debido al papel activo de la biota del suelo en la dinámica de ciertos elementos químicos (especialmente C, N y S).

Las modificaciones en la química cristalina de los minerales de arcilla suceden generalmente a temperaturas muy elevadas ($> 500\text{ }^{\circ}\text{C}$), pues los minerales son más refractarios al calor. No obstante, en ciertos suelos (Andosoles), formados sobre materiales volcánicos, la reactividad química de los minerales de la fracción arcilla (alofanas, imogolitas y complejos organominerales), puede resultar desnaturalizada por el calor a menor temperatura, dado su carácter amorfo (Notario del Pino, 2009). En suelos carbonatados, y sobre $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, se produce la transformación de carbonatos en óxidos por pérdida de CO_2 (Giovannini y Lucchesi, 1997). Los oxihidróxidos de Fe y Al sufren procesos de deshidratación más o menos irreversibles.

La transformación y/o eliminación de componentes orgánicos representa el grueso de las modificaciones inducidas por el calor en los suelos, por ser más sensibles que los minerales frente al calor. Ya han sido mencionadas la volatilización de C y la destilación de sustancias orgánicas. Además, la destrucción o transformación de moléculas orgánicas produce distintos resultados según la cantidad y tipo de combustible que ha ardido, pero también según la tasa de calentamiento o tiempo de residencia del fuego. Así, un calentamiento rápido favorece la emisión de gases y vapores combustibles, pero si es lento propicia la formación de carbones (cenizas negras; Figura 1). Por otra parte, cuanto mayor es el tiempo de permanencia de la fuente de calor, tanto más eficiente es la combustión (alta severidad), es decir, la materia orgánica pierde más carbono en forma gaseosa y el resto queda enriquecido en los componentes minerales del combustible original, originando así cenizas de color típicamente grisáceo o blanco, indicativas de una combustión muy eficiente (DeBano et al., 1998).

La combustión afecta en mayor grado a las fracciones menos resistentes al calor (materia orgánica libre, ácidos



Figura 1. Capa de cenizas y carbones en Andosoles bajo brezal en La Gomera, noviembre de 2012. Fotografía: J.Notario.

fúlvicos, etc.) (González-Vila et al., 2009), e induce los efectos siguientes:

- Aumento del pH y la salinidad del suelo: La combustión efectiva de la materia orgánica libera al suelo Ca^{+2} , Mg^{+2} , y K^{+} , es decir, cationes básicos. En condiciones de alta severidad (es decir, combustión muy eficiente), se acumulan como óxidos y carbonatos, generando así una reacción básica en el suelo (Ulery et al., 1993). Los cambios de pH son tanto más abruptos cuanto más eficiente es la combustión, no sólo por la cantidad y composición de las cenizas liberadas al suelo, sino también porque la pérdida de materia orgánica disminuye la capacidad amortiguadora de pH. La disponibilidad de nutrientes incrementa también la salinidad del suelo, al tratarse mayoritariamente de especies hidrosolubles.
- Disponibilidad de N y P minerales: Los cationes mencionados son nutrientes de las plantas. Una parte del N de los combustibles, además del que se volatiliza, permanece en el suelo, principalmente como sales de amonio. Los aportes de N mineral al suelo dependerán de la carga de combustible y de la cantidad consumida de éste. En cuanto al N total, dado que suele ser mayoritariamente orgánico, tiene un comportamiento similar al del C orgánico, aunque a veces aparecen excepciones a esta norma (Badía y Martí, 2003). Otro efecto es un importante aporte de P (fosfatos) en las cenizas (Saá et al, 1994). Todos estos nutrientes son generalmente muy solubles en agua, y por tanto

Tabla 1 Parámetros físico-químicos (promedio y desviación estándar entre paréntesis) en suelos afectados por un incendio en el T.M. de Fasnia (Tenerife). CE: conductividad eléctrica, CIC: capacidad de intercambio catiónico. P asimilable en mg kg^{-1} . Cationes y CIC en cmol (+) kg^{-1} . (*): diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Comunidad vegetal	pH (H ₂ O)	P asimilable	CE	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	CIC
Matorral de retama de Teide quemado	6.53* (0.48)	12.07 (5.45)	1477* (657)	4.62 (2.60)	0.81 (0.36)	4.79* (1.28)	2.31 (0.61)	21.02 (4.95)
Matorral de retama de Teide no quemado	5.77 (0.28)	14.05 (9.80)	768 (374)	4.21 (1.94)	0.77 (0.33)	1.23 (0.26)	1.67 (0.33)	23.79 (4.53)
Pinar repoblado quemado	6.77* (0.28)	21.44 (17.83)	1372* (647)	7.07* (2.60)	1.42* (0.31)	3.64* (3.18)	2.20 (0.89)	22.64 (4.42)
Pinar repoblado no quemado	5.96 (0.35)	9.43 (7.1)	685 (88)	5.33 (1.04)	1.39* (0.35)	4.51* (0.6)	1.80 (0.25)	24.13 (4.06)

fácilmente asimilables por la vegetación que crece o rebrota tras el incendio, así como por los microorganismos que recolonizan progresivamente las áreas afectadas. Sin embargo, y por eso mismo, pueden perderse fácil y rápidamente por erosión post-incendio, tanto hídrica como eólica.

- Pérdida de capacidad de retención de nutrientes: La pérdida de materia orgánica humificada del suelo implica una disminución del número y densidad de sus grupos funcionales carboxilo e hidroxilo-fenólicos superficiales, responsables de la capacidad de intercambio catiónico en suelos (Giovannini & Lucchesi, 1997). Por tanto, disminuye la capacidad del suelo para retener los nutrientes (cationes) liberados por la combustión, aumentando así el riesgo de pérdida. Esto es asimismo atribuible a los cambios descritos en los minerales de arcilla, ya que contribuyen a la reactividad química de los suelos.

Los datos de la Tabla 1 ilustran estos efectos en un incendio que afectó a suelos bajo bosque de pinar canario repoblado y matorral de leguminosas de cumbre (retama del Teide) en 1997.

Sin embargo, la combustión incompleta de los combustibles modifica profundamente la naturaleza y propiedades de la materia orgánica del suelo (Knicker, 2007). Dada su complejidad, así como variabilidad de las condiciones en que se desarrolla un incendio y su efecto sobre el suelo, esta transformación es también compleja, originando numerosos compuestos que forman el llamado *humus piromórfico*, constituido en su mayoría por sustancias no extraíbles con disoluciones químicas

alcalinas.

El uso de técnicas instrumentales avanzadas (pirólisis-GC-MS, FTIR o RMN), ha permitido conocer que los lípidos del suelo y ciertos hidrocarburos, tanto alifáticos como aromáticos, tienden a aumentar tras los incendios (González-Vila et al., 2009). Las reacciones de

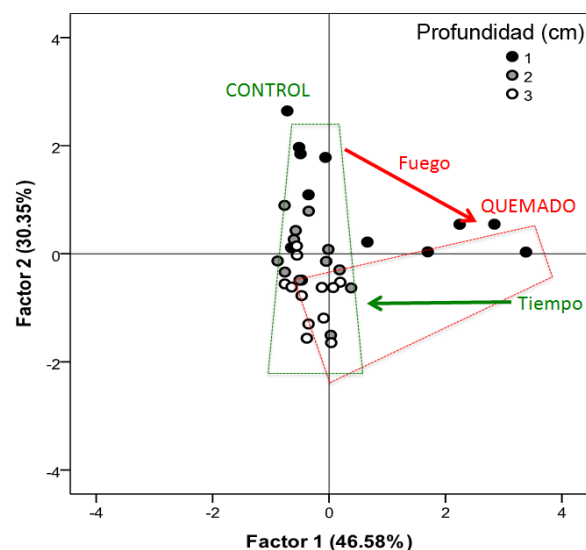


Figura 2. Variación de las puntuaciones factoriales (PCA) en muestras de suelo (Phaeozem réndzico) de un horizonte Ah muestreado a varias profundidades y sometido a calentamiento experimental. Las propiedades medidas incluyen Conductividad eléctrica, cationes solubles (Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ y K⁺), N inorgánico (NH₄⁺ y NO₃⁻), P asimilable, C orgánico, N total y carbonatos totales. El Factor 1 (46.6% varianza explicada) correlaciona con los iones solubles, con elevados niveles en las muestras quemadas, el Factor 2 (30.5% varianza explicada) con los contenidos en C orgánico, N total y carbonatos. Las muestras quemadas se desplazan a la derecha (Factor 1). Al cabo de un año, recuperan posiciones próximas a los controles no quemados. Fuente: D. Badía Villas, comunicación personal.

condensación de núcleos aromáticos, pueden dar lugar al llamado *black carbon*, una forma de carbono altamente condensada y estable en los suelos, debido a su resistencia frente a la degradación bioquímica.

También se han detectado hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), como el benzopireno, identificados como potencialmente carcinógenos para el hombre y los animales. Otras sustancias nocivas generadas en los incendios son las dioxinas y los furanos (Kim et al., 2003).

Es esencial señalar que la mayoría de estos cambios son transitorios: los suelos tienden a recuperar progresivamente el status químico previo al fuego, y sólo algunas propiedades resultan afectados por tiempo más prolongado. El período necesario para la recuperación va, según el medio y la severidad del incendio, desde algunas semanas a varios años. La Figura 2 ilustra esto mediante un análisis multivariante.

En resumen, los incendios forestales alteran la química del suelo, bien indirectamente (al eliminar los microorganismos del suelo) o directamente, afectando al balance de nutrientes, el pH y la salinidad o la capacidad de adsorción e intercambio iónico. Estos cambios se deben fundamentalmente (aunque no exclusivamente) a la combustión de la materia orgánica del suelo, así como al aporte de cenizas, y su persistencia es limitada, según la severidad del fuego y las condiciones ambientales.

REFERENCIAS

- Acea MJ, Carballas T. 1996.** Changes in physiological groups of microorganisms in soil following wildfire. *FEMS Microbiology Ecology* 20: 33-39.
- Badía D, Martí C. 2003.** Plant ash and heat intensity effects on chemical and physical properties of two contrasting soils. *Arid Land Research and Management* 17: 23-41.
- DeBano LF, Neary DG, Ffolliott PF. 1998.** Fire's effects on ecosystems. John Wiley & Sons, Chichester.
- Doerr SH, Shakesby RA, Walsh RPD. 2000.** Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance. *Earth-Science Reviews* 51: 33-65.
- Giovannini G, Lucchesi S. 1997.** Modifications induced in soil physico-chemical parameters by experimental fires at different intensities. *Soil Science* 162: 479-486.
- González-Vila FJ, Almendros G, González Pérez JA, Knicker H, González Vázquez R, Hernández Z, Piedra-Buena A, De la Rosa JM. 2009.** Transformaciones de la materia orgánica del suelo por incendios naturales y calentamientos controlados en condiciones de laboratorio. En: Cerdà A, Mataix-Solera J (Eds.), *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles.* Càtedra de Divulgació de la Ciència. Universitat de València, Valencia, pp. 219-267.
- Kim EJ, Oh JE, Chang YS. 2003.** Effects of forest fire on the level and distribution of PCDDyFs and PAHs in soil. *The Science of the Total Environment* 311: 177-189.
- Knicker H. 2007.** How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. *Biogeochemistry* 85: 91-118.
- Neary DG, Klopatek CC, DeBano LF, Ffolliott PF. 1999.** Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management* 122: 51-71.
- Notario del Pino JS. 2009.** Los incendios forestales en Canarias: una revisión. Causas, particularidades e impactos sobre el suelo. En: Cerdà A, Mataix-Solera J (Eds.), *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles.* Càtedra de Divulgació de la Ciència. Universitat de València, Valencia, pp. 469-489.
- Saá A, Trasar-Cepeda MC, Soto B, Gil-Sotres F, Díaz-Fierros F. 1994.** Forms of phosphorus in sediments eroded from burnt soils. *Journal of Environmental Quality* 23: 739-746.
- Ulery AL, Graham RC, Amrhein C. 1993.** Wood-ash composition and soil pH following intense burning. *Soil Science* 156: 358-364.

Cita recomendada:

Notario del Pino J. 2013. Efectos de los incendios sobre las propiedades químicas de los suelos. Red Temática Nacional Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos (FUEGORED). Ficha técnica FGR2013/03.