


FUEGORED

 Red temática nacional
 Efectos de los Incendios
 Forestales sobre los Suelos

Efectos del fuego en el suelo

 Ficha técnica
 FGR2013/07

EFFECTOS DEL FUEGO SOBRE LOS MICROORGANISMOS DEL SUELO

Autoras

- **Gema Bárcenas-Moreno**
 E-mail: gbarcenas@us.es
 Departamento de Cristalografía,
 Mineralogía y Química Agrícola,
 Facultad de Química, Profesor
 García González, 1, 41012,
 Sevilla, España
- **Montserrat Díaz-Raviña**
 E-mail: mdiazr@iiag.csic.es
 Departamento de Bioquímica
 del Suelo, Instituto de
 Investigaciones Agrobiológicas
 de Galicia (IIAG-CSIC), Apartado
 122, Avda. Vigo s/n, 15780,
 Santiago de Compostela, España

Coordinadores

- **Antonio Jordán**
 Universidad de Sevilla
- **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)


 Licencia Creative Commons:
 Reconocimiento-NoComercial-
 SinObraDerivada

■ Los microorganismos, a pesar de su pequeño tamaño ($5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$), son los componentes más importantes del suelo por ser los responsables de que éste se comporte como un sistema vivo y dinámico que está en continua evolución (el 80-90% de los procesos y reacciones que tienen lugar en el suelo está mediado por los microorganismos). La abundancia y composición de la microbiota viene determinada por una serie de factores edáficos biológicos y no biológicos entre los que podríamos mencionar: aireación, humedad, temperatura, luminosidad, componentes minerales, materia orgánica, profundidad, vegetación, prácticas de manejo y uso del suelo y relaciones intra- e inter-específicas con otros organismos edáficos (Figura 1). La interacción de todos estos factores bióticos y abióticos, que constituyen el entorno de los microorganismos, explica su enorme diversidad tanto taxonómica como fisiológica. Estos microorganismos no sólo son los principales agentes responsables de la fertilidad y la calidad del suelo sino que también lo son de la estabilidad y funcionamiento tanto de los ecosistemas naturales (forestales) como de los sistemas agrícolas ya que, por una parte, constituyen una importante vía y fuente de nutrientes para las plantas y llevan a cabo un gran número de transformaciones en las más diversas condiciones ambientales interviniendo en los ciclos del C y los nutrientes, la meteorización de rocas y minerales del suelo, las reacciones de complejación, etc.; y, por otra, influyen en ciertas propiedades y características del suelo tales como la estructura, el pH, el potencial redox, la temperatura y la composición de la atmósfera. El papel de la microbiota en los suelos quemados es, si cabe, mucho mayor que en los suelos naturales, dado que, tras el incendio, los microorganismos son los únicos agentes que pueden modificar y mejorar las condiciones post-incendio del suelo desnudo, favoreciendo la implantación de una cubierta vegetal, lo que, a su vez, resulta crucial para la protección del suelo quemado y la restauración del ecosistema forestal (recuperación del suelo y regeneración de la vegetación). Por otra parte, la microbiota edáfica, debido a su elevada tasa de reciclado y, por consiguiente, rápida respuesta frente a las fluctuaciones del medio en el que vive (cambios en su número, masa, actividad y diversidad), también puede utilizarse como un bioindicador o indicador temprano de los cambios producidos en la calidad del suelo como consecuencia del impacto de los incendios forestales y quemas prescritas, mucho antes de que tales cambios se detecten mediante análisis de las propiedades físicas, físico-químicas y químicas del suelo.



Figura 1. Interacciones de los microorganismos con otros factores bióticos y abióticos en los ecosistemas forestales.

A pesar de su interés, la información de que se dispone hoy en día sobre los microorganismos de los suelos afectados por incendios es todavía muy escasa, no equiparable a la disponible sobre las propiedades físicas y químicas del suelo quemado, y los resultados son muy diversos e incluso contradictorios (Nearly et al., 1999; Mataix-Solera et al., 2009). Esto se debe, sin duda, a la complejidad de su estudio, que conlleva, necesariamente, un enfoque ecológico, es decir, la caracterización, en condiciones de campo y a diferentes intervalos de tiempo, de la comunidad microbiana del suelo quemado y del correspondiente suelo control no quemado. Para ello, es necesario disponer de información a distintos niveles de organización sobre distintos aspectos complementarios de la misma (número, masa, actividad y diversidad) y, sobre todo, relacionar esta comunidad microbiana con el sistema edáfico en el que vive (factores bióticos y abióticos) con el fin último de poder separar el impacto del fuego sobre la microbiota del efecto que sobre la misma ejercen las condiciones ambientales (humedad, temperatura, luz, exudados radicales, etc.) que fluctúan de forma natural dentro del mismo suelo, tanto a escala espacial como temporal (estación del año). La elección de un control adecuado resulta crítica dado que va a determinar los umbrales de referencia de las propiedades bioquímicas y microbiológicas analizadas, a partir de los cuales puede considerarse que existe un efecto del incendio no controlado o de la quema prescrita. A todo esto se suma la ausencia de una metodología única, que englobe todos los aspectos microbianos, y al hecho de que la respuesta microbiana frente al fuego va variando con el tiempo debido, entre otros factores, a las condiciones ambientales post-incendio.

La mayoría de las investigaciones realizadas hasta el momento ofrecen una visión muy parcial y poco realista del impacto del fuego sobre la microbiota debido a que se han centrado en el estudio independiente de determinados parámetros microbianos (recuento de viables –recuento total, grupos taxonómicos y grupos fisiológicos-, biomasa microbiana, respiración, incorporación celular de sustratos marcados, actividades enzimáticas generales y específicas de los ciclos del C, N y P, análisis de ácidos grasos de los fosfolípidos), medidos de forma puntual en algunas experiencias de campo tras el impacto del incendio y, sobre todo, en experiencias de calentamiento del suelo en el laboratorio a diferentes temperaturas. Los resultados muestran que la respuesta de la microbiota edáfica frente al fuego es muy variada al depender, por una parte, de las características iniciales del ecosistema forestal (suelo, vegetación), de la duración e intensidad del incendio y de las condiciones post-incendio (clima, erosión, regeneración de la vegetación) y, por otra, de los parámetros microbianos de medida utilizados dado que éstos muestran una sensibilidad diferente para detectar los cambios inducidos en la calidad del suelo (Mataix-Solera et al., 2009; Díaz-Raviña et al., 2010). El tiempo transcurrido desde el incendio condiciona enormemente la respuesta microbiana pudiendo hablarse de efectos inmediatos del fuego, atribuidos a la acción directa sobre la microbiota del calentamiento del suelo (reflejada en la temperatura alcanzada por este), y efectos a corto, medio y largo plazo (efectos indirectos) atribuidos a los cambios inducidos por el fuego en el medio edáfico (factores bióticos y abióticos) que, a su vez, ejercen una influencia sobre los microorganismos (Figura 2).

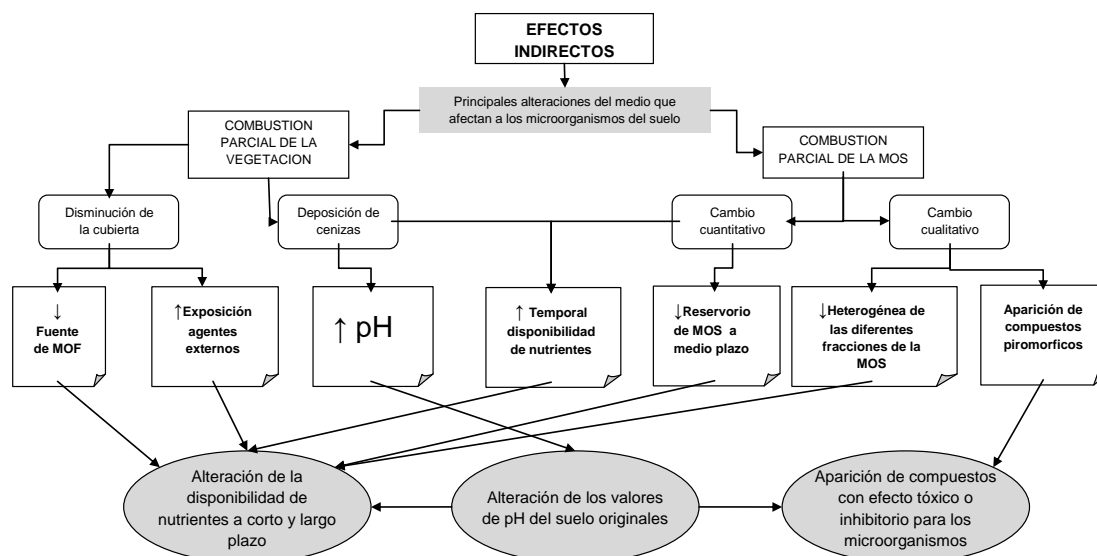


Figura 2. Esquema de los principales parámetros alterados por el fuego que afectan de forma indirecta la respuesta microbiana post-incendio a corto y largo plazo. MOF (Materia Orgánica Fresca); MOS (Materia Orgánica del Suelo).

1 EFECTO INMEDIATO

El contenido de humedad del suelo antes del incendio y la duración e intensidad del incendio son factores claves que van a condicionar los efectos directos del fuego y el grado de afectación a lo largo del perfil (en el suelo húmedo se alcanzan menores temperaturas de calentamiento que en el suelo seco pero su efecto se extiende a una mayor profundidad). El calentamiento del suelo a temperaturas elevadas resulta negativo e incluso letal (temperaturas > 120 °C) para los microorganismos y, con frecuencia, inmediatamente después del incendio se produce una esterilización parcial del suelo, sobre todo en los 0-2,5 cm superiores y, en consecuencia, la densidad, biomasa y actividad microbianas descienden considerablemente hasta alcanzar niveles muy bajos e incluso indetectables (Díaz-Raviña et al., 1992; Bárcenas-Moreno y Bååth, 2009). El efecto del incendio sobre los microorganismos está directamente relacionado tanto con la temperatura de calentamiento alcanzada como con la duración del quemado; de ahí que la magnitud del efecto disminuya con la profundidad y sea mayor en los incendios no controlados que en las quemas prescritas. La mayor o menor sensibilidad al calentamiento y la capacidad de formar estructuras de resistencia (esporas) de los distintos componentes de la comunidad son factores intrínsecos de cada suelo que condicionan enormemente la respuesta microbiana frente a la acción directa del fuego y que determinarán el punto de partida en la colonización microbiana post-incendio. La sensibilidad frente al calor de los diferentes grupos taxonómicos, determinados por recuentos de viables (sólo representan un 1-5% de la población) y/o por análisis de componentes celulares, tales como los ácidos grasos de los fosfolípidos (PLFA pattern), tiende a seguir el orden: hongos > actinobacterias > bacterias; celulolíticos > nitrificantes > amilolíticos > amonificantes

(Ahlgren, 1974; Vázquez et al., 1993; Acea y Carballas, 1996; Bárcenas et al., 2011).

2 EFECTOS A CORTO PLAZO

Por lo que respecta al efecto a corto plazo, los microorganismos supervivientes al impacto directo del fuego proliferan rápidamente ocupando nuevos nichos que vienen determinados por los cambios sustanciales inducidos por el fuego en las propiedades del suelo (Figura 2) y, por consiguiente, observaremos cambios en la microbiota, de mayor o menor magnitud dependiendo de la severidad del incendio. Así pues, si la humedad del suelo es suficiente, la recuperación de la microbiota y de su actividad va a ocurrir rápidamente, a expensas del incremento transitorio de C y nutrientes observándose la proliferación de determinados microorganismos que han resistido el calentamiento a las altas temperaturas alcanzadas durante el incendio y que son más competitivos en las condiciones específicas post-incendio. Así, por ejemplo, el pH determina la abundancia relativa de las bacterias frente a los hongos y la disponibilidad de C y nutrientes determina la predominancia de uno u otro grupo microbiano con diferente estrategia de crecimiento, es decir, tipo r o K. En determinados casos, sin embargo, la producción de sustancias piromórficas con un efecto tóxico sobre los microorganismos puede retrasar y condicionar dicha recuperación (Díaz-Raviña et al., 1996). La actividad metabólica general del suelo, medida como capacidad mineralizadora del C y del N o como incorporación celular de sustratos marcados, suele ser un índice muy adecuado para valorar esta “explosión” de la comunidad microbiana inducida a corto plazo por el fuego (Prieto-Fernández et al., 1993; Fernández et al., 1999; Bárcenas-Moreno et al., 2011). Las condiciones del suelo quemado favorecen el crecimiento de los

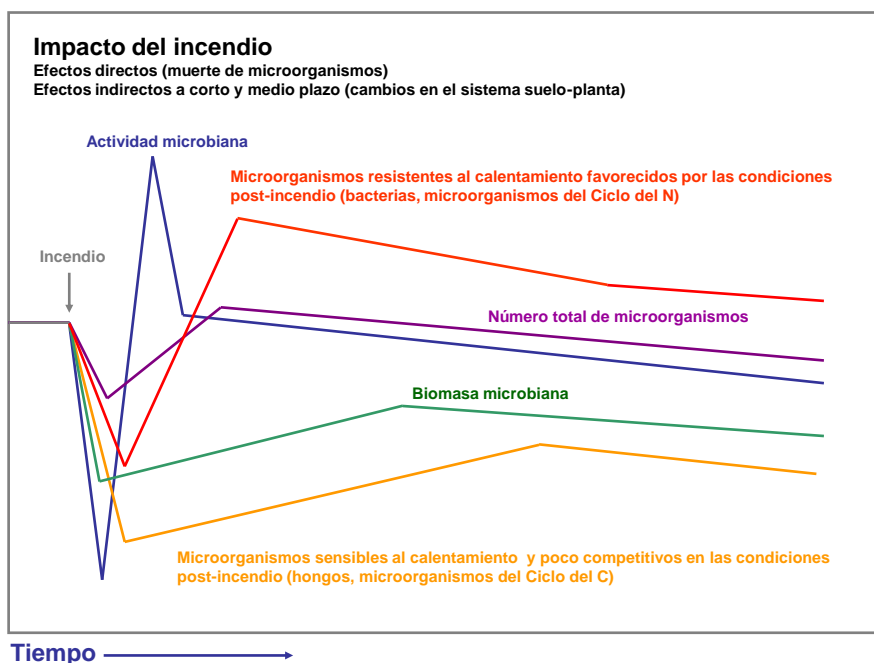


Figura 3. Impacto a corto, medio y largo plazo de un incendio de alta severidad sobre la microbiota edáfica.

microorganismos del ciclo del N y las bacterias, mientras que los microorganismos del ciclo del C y la densidad de los hongos y de los microorganismos fotoautotróficos, tales como cianobacterias y algas, disminuyen en gran proporción (Vázquez et al., 1993; Acea y Carballas, 19996). Sin embargo, estos efectos positivos sobre la densidad y actividad microbiana son transitorios y, al cabo de un tiempo, al agotarse estas sustancias lábiles y quedar las más recalcitrantes al ataque microbiano, con el consiguiente retardo en la liberación de nutrientes, tienden a desaparecer. El incremento efímero de la actividad microbiana no suele ir acompañada de un incremento del C de la biomasa microbiana debido tanto a la reducción significativa del C orgánico y, por consiguiente, también de su fracción activa más lábil, como a la lentitud con la que se recuperan los hongos, que contribuyen más a la biomasa que las bacterias (Prieto-Fernández et al., 1999; Carballas et al., 2009).

3 EFECTOS A MEDIO Y LARGO PLAZO

A medio plazo, cuando la disponibilidad del C y nutrientes disminuye, se observan efectos negativos del incendio sobre la microbiota edáfica, que tienden a aminorarse con el tiempo y se traducen, sobre todo, en unos valores más bajos del C de la biomasa. Tras el impacto de incendios de baja o moderada severidad en zonas donde se ha recuperado la cubierta vegetal que suministra, de nuevo, aporte de C y nutrientes lábiles a los microorganismos, el impacto del fuego puede llegar a desaparecer después de 1-2 años. Sin embargo, cuando los efectos indirectos del fuego persisten y ha disminuido drásticamente la disponibilidad de C y nutrientes a largo plazo

(modificaciones drásticas del contenido y composición de la materia orgánica que presenta un predominio de las fracciones recalcitrantes frente a las lábiles), es decir, en incendios de alta severidad con una lenta recuperación de la cubierta vegetal y/o en áreas altamente susceptibles a la erosión post-incendio, se observa un impacto negativo del fuego sobre la microbiota edáfica (basándose en la determinación de la biomasa y la estructura de la comunidad), incluso 5-10 años después del incendio (Prieto et al., 1999; Díaz-Raviña et al., 2010).

RESUMEN

El conocimiento de la respuesta de la comunidad microbiana frente al estrés producido por el impacto de los incendios forestales, es decir, de su susceptibilidad-resiliencia, resulta fundamental para entender el funcionamiento del ecosistema y, por tanto, para la toma de decisiones en la gestión de los ecosistemas forestales quemados. Sin embargo, la interpretación de los resultados es siempre compleja, lleva implícita la comparación con un suelo control no quemado y requiere la caracterización de la comunidad microbiana mediante el estudio de distintos aspectos de los microorganismos del suelo (número, masa, actividad y diversidad) y su relación con el medio en el que viven (sistema suelo-planta), es decir, debe abordarse desde una perspectiva ecológica. Además, teniendo en cuenta que las diversas propiedades bioquímicas y microbiológicas presentan una sensibilidad diferente para detectar los cambios inducidos por el fuego en la comunidad microbiana y, por consiguiente, en la calidad del suelo quemado, dependiendo del objetivo del estudio y del tiempo transcurrido desde el incendio, será

conveniente utilizar uno u otro parámetro. Así, para la detección a corto plazo pueden emplearse cualquiera de los parámetros antes señalados, basados en el número, masa, actividad y diversidad de los microorganismos; sin embargo, para la detección a medio y largo plazo las estimaciones de la biomasa y de la diversidad microbiana son las más adecuadas (Figura 3). La diversidad microbiana tiende a relacionarse con la capacidad de recuperación del ecosistema edáfico ante una perturbación y con el mantenimiento de su estabilidad funcional; por tanto, en determinados escenarios, cuando a causa del fuego el suelo se degrada y puede alterarse drásticamente y de forma irreversible (a largo plazo) la microbiota edáfica, puede ser necesario recurrir, lo antes posible, a la adopción de determinadas prácticas de protección y rehabilitación de suelos, con el fin de acelerar la restauración del sistema suelo-planta y reestablecer el equilibrio entre los diferentes componentes de la microbiota para asegurar el funcionamiento del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio Español de Economía y Competitividad (AGL2012-39686-C02-01) y a la Fundación MAFRE la financiación de los proyectos.

REFERENCIAS

- Acea MJ, Carballas T.** 1996. Changes in physiological groups of microorganisms in soil following wildfire. *FEMS Microbiology Ecology* 20:33–39.
- Ahlgren IF.** 1974. The effect of fire on soil organisms. En: Kozlowskiz TT y Ahlgren CE (Eds.), *Fire and Ecosystems*, Academic Press, London, pp. 47-72.
- Bárcenas-Moreno G, Bååth E.** 2009. Bacterial and fungal growth in soil heated at different temperatures to simulate a range of fire intensities. *Soil Biology and Biochemistry* 41:2517-2526.
- Bárcenas-Moreno G, García-Orenes F, Mataix-Solera J, Mataix-Beneyto J, Bååth E.** 2011. Soil microbial recolonisation after fire in a Mediterranean forest. *Biology and Fertility of Soils* 47:261-272.
- Carballas T, Martín A, Díaz-Raviña M.** 2009. Efecto de los incendios forestales sobre los suelos de Galicia. 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. 269-301.
- Díaz-Raviña M, Fontúrbel MT, Guerrero C, Martín A, Carballas T.** 2010. Determinación de propiedades bioquímicas y microbiológicas en suelos quemados. En: Cerdà A, Jordán A (Eds.), *Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales*. Càtedra de Divulgació de la Ciència. Universitat de València, Valencia, pp. 459-488.
- Díaz-Raviña M, Prieto A, Acea MJ, Carballas T.** 1992. Fumigation-extraction method to estimate microbial biomass in heated soils. *Soil Biology and Biochemistry* 24:259-264.
- Díaz-Raviña M, Prieto A, Bååth E.** 1996. Bacterial activity in a forest soil after soil heating and organic amendments measured by the thymidine and leucine incorporation techniques. *Soil Biology and Biochemistry* 28:419-426.
- Fernández I, Cabaneiro A, Carballas T.** 1999. Carbon mineralization dynamics in soils after wildfires in two Galician forests. *Soil Biology and Biochemistry* 31:1851-1865.
- Mataix-Solera J, Guerrero C, García-Orenes F, Bárcenas G, Torres MP.** 2009. Forest fire effects on soil microbiology. En: Cerdà A, Robichaud PR (Eds), *Fire effects on soils and restoration strategies*. Vol 5, Land reconstruction and management. Science Publishers, New Hampshire, pp 133-175.
- 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.
- Prieto-Fernández A, Acea MJ, Carballas T.** 1998. Soil microbial and extractable C and N after wildfire. *Biology and Fertility of Soils* 27:132-142.
- Prieto-Fernández A, Villar MC, Carballas M, Carballas T.** 1993. Short term effects of a wildfire on the nitrogen status and its mineralization kinetics in an atlantic forest soil. *Soil Biology and Biochemistry* 25:1657-1664.
- Vázquez FJ, Acea MJ, Carballas T.** 1993. Soil microbial populations after wildfire. *FEMS Microbiology Ecology* 13:93-104.

Cita recomendada:

Bárcenas-Moreno G, Díaz-Raviña M. 2013. Efectos del fuego sobre los microorganismos del suelo. Red Temática Nacional Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos (FUEGORED). Ficha técnica FGR2013/07.