

Después de un incendio existen diversas técnicas de emergencia para proteger y recuperar los suelos y acelerar la regeneración natural de la vegetación forestal, como siembra de herbácea y cobertura del suelo con restos vegetales y fajinadas, entre otras. En este trabajo se presenta la técnica del alfombrado (*mulching*) con heno o paja, considerada por los estudios más recientes como la más fiable y efectiva de todas, aunque las dificultades técnicas y económicas pueden limitar su aplicación a gran escala.



OPTIMIZACIÓN de técnicas de protección *de suelos forestales quemados*

Por **SERAFÍN GONZÁLEZ-PRieto**. Doctor en Biología e Investigador Científico. **MONTserrat DÍAZ-RAVIÑA**. Doctora en Biología e Investigador Científico. **Mª XESÚS GÓMEZ-REY**. Doctora en Biología e Investigadora contratada. **ÁNGELA MARTÍN**. Doctora en Química y Titulado Superior Especializado. **ANA BARREIRO, ALBA LOMBAO y MARÍA FERNÁNDEZ**. Licenciadas en Biología y Doctorandas. Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia (CSIC), Santiago de Compostela.

Los incendios ocasionan elevados daños económicos y ecológicos, que se agravan cuando su recurrencia impide que se recupere la vegetación, agravando la degradación y erosión del suelo. Los incendios modifican la disponibilidad de los nutrientes para los organismos vivos, tanto la de los que se necesitan en mayores cantidades o

macronutrientes (nitrógeno, calcio, magnesio, potasio y fósforo), como la de los denominados micronutrientes o elementos traza porque son necesarios para la vida en cantidades mucho más reducidas (hierro, manganeso, cobre, zinc, cobalto, boro y molibdeno).

Con frecuencia los incendios provocan importantes pérdidas de nitrógeno



Los incendios modifican la disponibilidad de los nutrientes para los organismos vivos, tanto la de los que se necesitan en mayores cantidades o macronutrientes, como la de los denominados micronutrientes o elementos traza

por volatilización y alteran el ciclo del nitrógeno en el sistema suelo-planta. La disponibilidad de calcio, magnesio, potasio y fósforo suele aumentar transitoriamente tras el incendio, pero este incremento depende del nutriente, la vegetación quemada y las propiedades del suelo, pudiéndose perder gran parte de ellos por lavado con las lluvias, erosión hídrica o eólica, o porque la vegetación no se recupera con la suficiente rapidez para aprovecharlos.

En cuanto a los micronutrientes o elementos traza, su comportamiento con respecto al fuego no se conoce bien y ello pese a su gran importancia pues, dependiendo de su disponibilidad, pueden producirse carencias o toxicidades en los organismos vivos.

Por otra parte, además de destruir la cubierta vegetal protectora, los incendios disminuyen la agregación del suelo y la estabilidad de los agregados frente al agua, aumentando el riesgo de erosión, que se correlaciona negativamente con la cobertura vegetal.

Para reducir la erosión en áreas severamente afectadas por el fuego, es habitual en algunos países aplicar técnicas de emergencia para proteger y recuperar los suelos y acelerar la regeneración natural de la vegetación forestal. Los tratamientos habituales son la siembra de herbáceas, cobertura del suelo con restos vegetales y fajinadas, que presentan la mejor relación coste/beneficio, aunque existen muy pocos estudios científicos en los que se haya probado su efi-

cacia en condiciones de campo. Según los estudios más recientes, la técnica más fiable y efectiva en la zona templado húmeda es la de cobertura del suelo con paja, pero las dificultades técnicas y económicas pueden limitar su aplicación a gran escala y a las dosis medio-altas utilizadas en estas experiencias (250 g m^{-2} ; 2.500 kg ha^{-1}).

Por todo ello, se desarrolló la presente investigación con dos objetivos principales. El primero es determinar la dosis óptima de aplicación de *mulching* de paja a suelos quemados, de acuerdo con criterios económicos y de eficacia en el control de las pérdidas de suelo. El segundo objetivo es evaluar si este tratamiento juega un papel positivo o no en la recuperación de la calidad del suelo (propiedades físicas, físico-químicas, químicas y biológicas), pues los estudios referentes al efecto de técnicas de protección y recuperación de suelos forestales quemados sobre sus propiedades bioquímicas y microbiológicas son escasos, y ello a pesar de que tanto la disponibilidad de nutrientes como la diversidad de los microorganismos del suelo son esenciales para el funcionamiento de todo el ecosistema.

Materiales y metodología

Se seleccionó una ladera sobre pizarras grises, de elevada pendiente (33-38 por ciento) y afectada con severidad medio-alta por el incendio forestal de Escairón en septiembre de 2012 (Saviñao, Lugo). En una superficie suficientemente homogénea y amplia (1,3 ha) se establecieron 12 parcelas experimentales (40 m de longitud a lo largo de la línea de pendiente y 10 m de anchura) necesarias para los distintos tratamientos del suelo (4 réplicas): SQ, suelo quemado; SQA, suelo quemado con 200 g m⁻² de paja en la mitad superior de la parcela (dosis global = 1.000 kg ha⁻¹); SQF, suelo quemado con 200 g m⁻² de paja en dos franjas alternas intermedias de 8 m de longitud (dosis global = 800 kg ha⁻¹).

En cada parcela se instalaron barreras laterales de geotextiles, la inferior de las

cuales actuó como colector de los sedimentos erosionados, que se recogieron periódicamente. En todas las parcelas se muestreó el suelo (capa 0-2,5 cm) después del incendio y antes de aplicar los tratamientos (tiempo 0) y al cabo de 3, 6, 9 y 12 meses del incendio. En las parcelas con tratamiento con paja en parte de la superficie se muestreó separadamente el suelo en las zonas cubiertas con paja (SQAP y SQFP) y en las zonas sin paja (SQA y SQF).

Tanto en los suelos como en los sedimentos erosionados se analizaron el pH en H₂O y KCl, el carbono y nitrógeno total, la abundancia natural de ¹³C y ¹⁵N, el nitrógeno inorgánico y un total de 13 macronutrientes o elementos traza asimilables (aluminio, boro, calcio, cobalto, cobre, fósforo, hierro, magnesio, manganeso, molibdeno, potasio, sodio y zinc). En los suelos se analizaron ade-

más la capacidad de retención de agua, la estabilidad estructural, la conductividad eléctrica, el carbono hidrosoluble y de la biomasa microbiana, actividades enzimáticas generales y específicas de los ciclos de carbono, nitrógeno y fósforo y la estructura de la comunidad microbiana.

Análisis y discusión de los resultados obtenidos

Los datos provisionales disponibles indican que las tasas de erosión durante el primer año post-incendio fueron bajas en todas las parcelas, con o sin tratamiento de estabilización, debido a las suaves condiciones meteorológicas, sin intensas precipitaciones que pudiesen desencadenar fuertes eventos erosivos



Parcelas experimentales seleccionadas para los distintos tratamientos de suelo tras el incendio forestal de Escairón (Lugo) en 2012.



Arriba y abajo, alfombrado con paja en los suelos de las parcelas seleccionadas tras el incendio.



pese a tratarse de una zona de elevada pendiente quemada con severidad medio-alta.

pH y capacidad de almacenamiento de agua

La capacidad de retención de agua de los suelos en general disminuyó significativamente a lo largo del periodo de estudio, que explicó la mitad de la varianza, y resultó independiente del tratamiento aplicado al suelo, lo cual en gran medida podría deberse a la alteración de la estructura del suelo por el fuego y la erosión post-incendio.

El pH de los suelos aumentó transitoriamente a los tres meses del incendio debido a la infiltración de cationes básicos desde la capa de cenizas y luego disminuyó cuando dichos cationes fueron lavados por las precipitaciones invernales, de tal modo que el tiempo transcurrido desde el incendio explicó la mayor parte de su variación, mientras que ni el tratamiento ni la interacción tiempo-tratamiento tuvieron efectos significativos. Al igual que en los suelos, el pH de los sedimentos no estuvo influenciado por el tratamiento y sí por el tiempo transcurrido desde el incendio (dos tercios de la varianza explicada). (Figura 1)

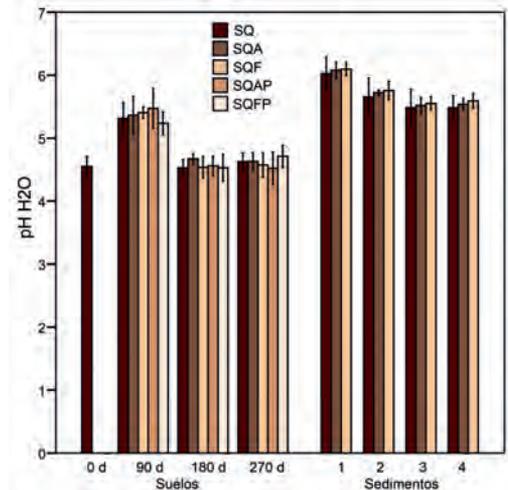


Figura 1. Evolución tras el incendio del pH en suelos y sedimentos.

Materia orgánica

El contenido total de carbono orgánico de los suelos no se vio afectado significativamente por los tratamientos aplicados al suelo quemado tras el fuego pero sí por el tiempo transcurrido desde el incendio, aunque solo explicó un quinto de la varianza. La tendencia a disminuir el contenido en carbono de los suelos observada durante el periodo de estudio se debe seguramente a las pérdidas por erosión post-incendio. Por su parte, la abundancia natural de ^{13}C no resultó afectada por el tratamiento ni por el tiempo transcurrido desde el incendio.

De las cuatro fracciones lábiles de la materia orgánica analizadas, sólo los hidratos de carbono solubles en H_2O a 22°C y a 80°C (que son las más fácilmente disponibles para los microorganismos del suelo y las más relacionadas con la estabilidad de los agregados del suelo, respectivamente) resultaron afectados por el tiempo transcurrido desde el incendio, aunque el efecto de este fue reducido (12-15 por ciento de la varianza explicada), mientras que los tratamientos aplicados al suelo tras el incendio no afectaron a ninguna de las fracciones lábiles de la materia orgánica. (Figura 2)

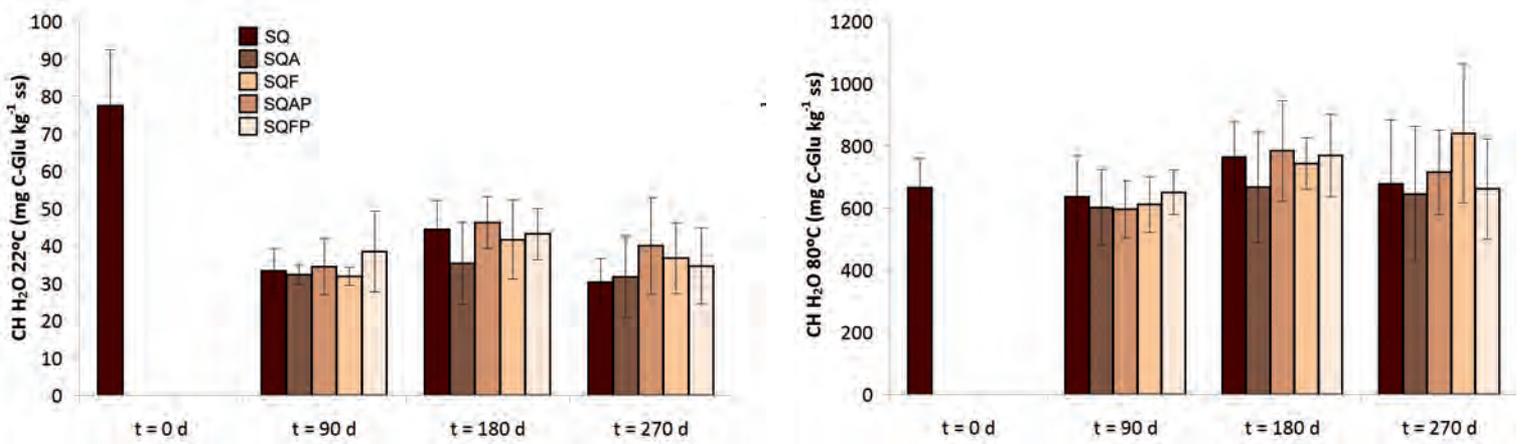


Figura 2. Evolución tras el incendio de los hidratos de carbono hidrosoluble a 22 °C y 80 °C.

El contenido en nitrógeno total y la abundancia natural de ¹⁵N en suelos y sedimentos no resultó afectado por el tratamiento, aunque sí por el tiempo transcurrido desde el incendio, que explicó, respectivamente, un 19-32 por ciento de la varianza. La disminución del N total del suelo debido a la erosión post-incendio se reflejó en que, con respecto al suelo, los sedimentos están siempre enriquecidos en nitrógeno total y empobrecidos en el isótopo pesado ¹⁵N, indicando que en su composición entra una fracción sustancial de restos vegetales más o menos carbonizados.

Macronutrientes

En los suelos, el contenido en amonio estuvo influenciado tanto por el tiempo transcurrido desde el incendio como por el tratamiento (un tercio de la varianza explicada cada uno), mientras que los niveles de nitratos sólo se vieron afectados por el tratamiento (22 por ciento de la varianza explicada) y la interacción entre ambos factores no resultó relevante para ninguna de las fracciones de nitrógeno inorgánico, que tienden a disminuir progresivamente después del incremento debido al incendio. En el caso de los sedimentos, los resultados fueron ligeramente diferentes pues el trata-



miento no tuvo efecto significativo sobre los niveles de amonio y su impacto sobre los de nitrato fue algo menor. Sin embargo, la influencia del tiempo transcurrido desde el incendio fue muy superior, explicando un 57 por ciento de la varianza de los nitratos y un 83 por ciento de la del amonio.

Mientras que el tratamiento sólo explicó una pequeña fracción de la varianza del potasio en los suelos (16 por ciento), el tiempo transcurrido desde el incendio explicó entre un cuarto y un tercio de la

La técnica de *mulching* con heno o paja sobre los suelos quemados es una buena opción cuando el riesgo hidrológico es elevado

variación de los contenidos en sodio y zinc, en torno a la mitad en el caso de calcio, magnesio y fósforo y dos tercios en el del potasio.

Por su parte, las ANOVAS de dos vías realizadas con los datos de macronutrientes en los sedimentos arrastrados con los cuatro primeros eventos erosivos indican que el efecto de la fecha de muestreo (es decir, el tiempo transcurrido desde el incendio) es más intenso y generalizado que el del tratamiento. Aunque también débilmente (13-22 por ciento de la varianza explicada), el tratamiento afectó no solo al contenido de potasio, sino también al de fósforo. En los sedimentos, el efecto del tiempo desde el incendio sobre los niveles de macronutrientes fue mayor que el observado en el caso de los suelos y, además, generalizado a todos los elementos, explicando entre un tercio y un medio de las varianzas de calcio, sodio y fósforo, y más de tres cuartas partes de la variación de potasio y magnesio. (Figura 3)

Elementos traza

En tanto que en los suelos el tratamiento no influyó significativamente en el contenido de ningún elemento traza, en los sedimentos explicó una pequeña parte (14-22 por ciento) de la varianza de los niveles de aluminio y cobre.

Los resultados para suelos y sedimentos también fueron dispares en cuanto a la influencia del tiempo transcurrido desde el incendio, que para los primeros explicó un 36 por ciento de la varianza del zinc y un 96 por ciento de la del boro, mientras que en el caso de los segundos influyó en todos los elementos traza con excepción del cobre, explicando una fracción de sus varianzas que aumenta en el

orden: cobalto (18 por ciento), boro, hierro y aluminio (34-41 por ciento), molibdeno y manganeso (47-51 por ciento), y zinc (77 por ciento).

Biomasa y actividad microbiana

El carbono de la biomasa microbiana estuvo muy influenciado por el tiempo transcurrido tras el incendio (que explicó dos tercios de la varianza), mientras que el tratamiento sólo explica un mar-



Latinstock

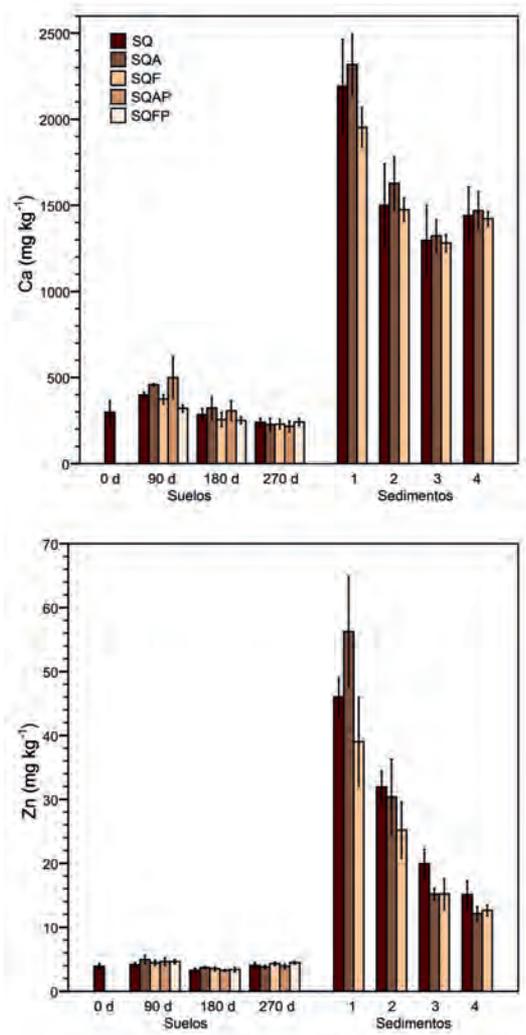


Figura 3. Evolución tras el incendio de los niveles de calcio y zinc extraíbles en suelos y sedimentos.

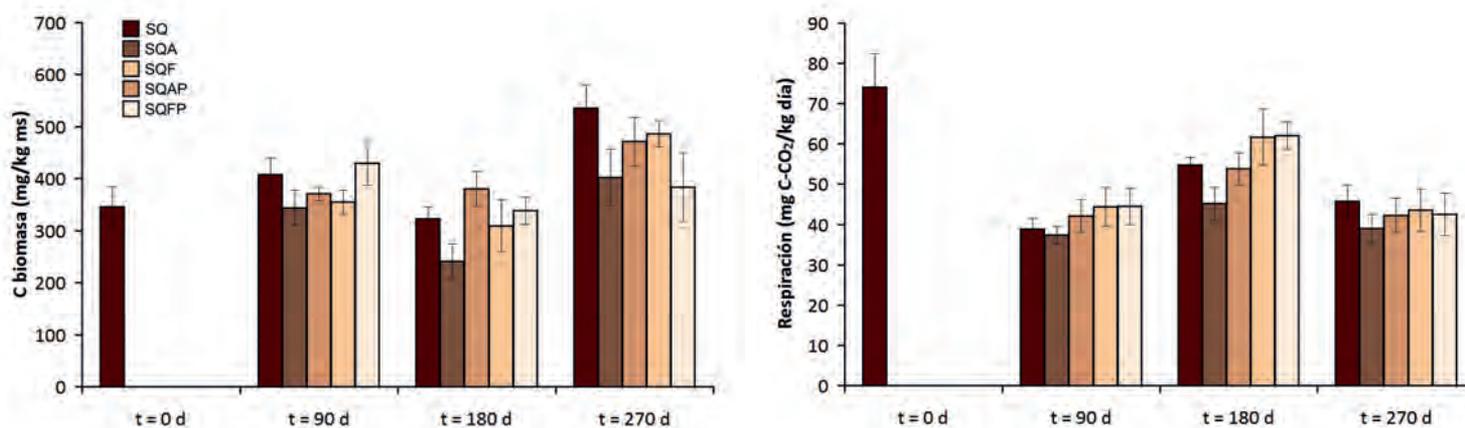


Figura 4. Evolución tras el incendio del carbono y la respiración de la biomasa microbiana del suelo.

ginal 5 por ciento de la variación de los datos. Por el contrario, no se detectaron efectos de las variables estudiadas sobre el carbono extraíble.

La respiración del suelo, que mide la actividad metabólica global de todos los microorganismos del suelo, no resultó afectada por el tratamiento y sí por el tiempo transcurrido desde el incendio, que explicó un 36 por ciento de la varianza. Un resultado similar se observó en el caso de las actividades enzimáticas de los ciclos del carbono (glucosidasa) y del nitrógeno (ureasa), pues el tiempo desde el incendio explicó, respectivamente, un 62 por ciento y un 39 por ciento de sus varianzas. Por el contrario, la medida de la actividad bacteriana resultó afectada tanto por el tiempo transcurrido desde el incendio como por el tratamiento (32 por ciento y 16 por ciento de la varianza explicada, respectivamente). (Figura 4)

Conclusiones

A las dosis empleadas en el presente estudio y en los precedentes realizados por el mismo equipo (800-2.500 kg ha⁻¹), el alfombrado (*mulching*) con heno o paja de los suelos quemados no afecta a sus propiedades físicas, químicas y biológicas, excepto a los niveles de amonio y nitratos. Este resultado sugiere un aumento de la inmovilización neta de amonio y nitratos bajo la paja que, no obstante, re-

sultaría positiva para reducir las pérdidas de un nutriente tan esencial como el nitrógeno y ayudar a retener dentro del sistema suelo-planta la elevada cantidad de nitrógeno inorgánico provocada por la combustión de la vegetación y la materia orgánica. La aplicación de heno o paja, además, promueve a corto plazo (3-6 meses) la implantación de una cubierta vegetal de herbáceas gracias a las semillas que aporta, sin que ello dificulte a medio plazo (6-12 meses) la regeneración natural de la vegetación.

A la vista de los resultados obtenidos, se considera necesario incorporar esta técnica a la lucha integral contra los incendios forestales cuando el riesgo hidrológico erosivo sea elevado debido a

la severidad del fuego sobre el suelo y la vegetación, a la topografía del terreno y al régimen de lluvias. En los estudios previos las dosis de 2.000-2.500 kg ha⁻¹ han resultado ampliamente suficientes en condiciones de fuerte erosividad; en la presente investigación, las dosis de 800-1.000 kg ha⁻¹ han resultado satisfactorias en las condiciones de moderada erosividad del año 2013 en la zona de estudio, pero habría que confirmar si resultan igualmente satisfactorias en un año de intensas precipitaciones. ♦

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado gracias a una ayuda a la investigación concedida por FUNDACIÓN MAPFRE.

Referencias

- [1] Birot, Y. 2009. Convivir con los incendios forestales: lo que nos revela la ciencia. EFI Discussion Paper. European Forest Institute, Finland.
- [2] Cerdà, A., Robichaud, P.R. 2009. Fire effects on soils and restoration strategies. Land Reconstruction and Management. Science Publishers, Enfield, NH, USA.
- [3] Carballas, T. 1997. Effects of fires on soil quality. Biochemical aspects. En «Forest fire risk and management» (P. Balabanis, G. Eftichidis and R. Fantech, eds.), pp. 249-261. European Commission, Brussels, Belgium.
- [4] Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143(1), 1-10.
- [5] Díaz-Raviña, M., Martín, A., Barreiro, A., Lombao, A., Iglesias, L., Díaz-Fierros, F., Carballas, T. 2012. Mulching and seeding treatments for post-fire soil stabilisation in NW Spain: Short-term effects and effectiveness. *Geoderma* 191: 31-9.
- [6] Fernández, C., Vega, J.A., Jiménez, E., Fontúrbel, T. 2011. Effectiveness of three post-fire treatments at reducing soil erosion in Galicia (NW Spain). *International Journal of Wildland Fire* 20, 104-114.
- [7] Gómez-Rey, M.X., Couto-Vázquez, A., García-Marco, S., Vega, J.A., González-Prieto, S.J. 2012. Reduction of nutrient losses with eroded sediments by post-fire soil stabilization techniques. *International Journal of Wildland Fire* 22, 696-706.
- [8] Vega, J.A., Fernández, C., Fontúrbel, T. 2005. Thoroughfall, runoff and soil erosion after prescribed burning in gorse shrubland in Galicia (NW Spain). *Land Degradation and Development* 16, 37-51.