

Efecto de los trabajos de restauración forestal post-incendio en ladera sobre la recuperación de la funcionalidad del suelo

Effects of postfire hillslope forest restoration techniques on soil functionality

Gómez-Sánchez M.E.¹; Lucas-Borja, M.E.²; Plaza-Álvarez P.A.²; González-Romero, J.²;
Sagra, J.²; Moya, D.²; De las Heras, J.²

¹*Servicio de Política Forestal y Espacios Naturales. Dirección Provincial de la Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural. Junta de Comunidades de Castilla la Mancha. C/Mayor 47 02071. Albacete.*

²*Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Castilla La Mancha, Campus Universitario s/n. 02071. Albacete.*

Autor para correspondencia: ManuelEsteban.Lucas@uclm.es

Resumen

El presente trabajo pretende evaluar el efecto de las técnicas de restauración post-incendio utilizadas a nivel ladera (acordonado y fajinas) sobre la funcionalidad del suelo, medida ésta a partir de las propiedades físico-químicas y microbiológicas y del contenido de nutrientes del suelo. Los resultados indican que las zonas en las que se realizaron las fajinas presentan unos valores más altos de materia orgánica en comparación con zonas donde se realizaron cordones, zonas quemadas sin actuación y zonas sin quemar. Las propiedades microbiológicas se recuperan en las zonas restauradas y son similares a los valores encontrados en las zonas control. El presente trabajo demuestra la importancia de las medidas de restauración para recuperar la funcionalidad de los suelos después de incendio.

Palabras clave: Fajinas, acordonado, incendio forestal, calidad suelos, materia orgánica.

Abstract

This work aims to evaluate the effect of two different soil restoration techniques at slope scale (Contour-felled log erosion barrier and contour-felled log debris) on soil functionality, which was assessed using different soil physicochemical and microbiological soil properties and soil nutrient content. Our results indicate that plots under Contour-felled log erosion barriers presented higher soil organic matter in comparison to plots under contour-felled log debris, wildfire-affected areas without any intervention or unaffected areas by fire. Postfire restoration practices generate microbiological soil properties recovery, reaching similar values to those found at control plots. This work highlights that postfire restoration practices are important for recovering soil multifunctionality after wildfires.

Keywords: Contour-felled log erosion barrier; contour-felled log debris; forest fires; soil quality; soil organic matter.

1. Introducción

Tras un incendio forestal, se origina una compleja respuesta de los suelos y la vegetación, que dependerá tanto de las características del fuego, básicamente severidad e intensidad, como de las propiedades del ecosistema (Mataix-Solera y Cerdá, 2009). El conocimiento de las tasas de cambio ocasionadas por un incendio y el efecto de las tareas de restauración sobre el suelo y la vegetación es fundamental para los gestores, a fin de detectar aquellas sinergias que puedan ocasionar un deterioro del ecosistema mayor al provocado por el propio incendio o compensaciones que puedan favorecer o acelerar la recuperación.

Las fajinas o barreras vegetales son una actuación post-incendio ampliamente extendida en el mundo forestal, como medida para el control de los procesos erosivos (escorrentía y arrastre de sedimentos aguas abajo) (Rochibaud *et al.*, 2008). Además, se trata de una medida de gestión del combustible muerto quemado, que facilita el posterior manejo y uso del monte, permitiendo la descomposición e incorporación del material procesado más rápidamente al suelo con la consiguiente disminución de carga de combustible y el aumento de los posibles efectos beneficiosos sobre el suelo. Estudios previos han puesto de manifiesto resultados contradictorios atendiendo a las diferencias existentes en el diseño de la estructura, la estación ecológica, severidad de fuego y momento de instalación. En algunos casos, el impacto de las fajinas o acordonado como elemento reductor de escorrentías y de depósitos arrastrados se limita a episodios de lluvia de poca entidad, y en todo caso siempre condicionado a su correcta instalación (*e.g.* Rochibaud *et al.*, 2008). En otros casos, los efectos registrados son inapreciables o escasos (Badia *et al.*, 2015). Finalmente, algunos estudios han puesto de manifiesto un efecto negativo, en términos de mayor porcentaje de suelo desnudo y pedregosidad, en zonas de solana sometidas a distintos tratamientos selvícolas, que podría asociarse al trasiego por la zona quemada y posterior aumento de la erosión del suelo (Raftoyanis & Spanos, 2005).

El objetivo del presente estudio es evaluar el efecto de fajinas y acordonado sobre las propiedades del suelo, y más concretamente los efectos que las prácticas postincendio de construcción de fajinas o el acordonado tienen en las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y contenido en nutrientes del suelo. Las conclusiones de este estudio aportan información a los gestores sobre la influencia de determinadas prácticas post-incendio sobre el suelo y la vegetación.

2. Material y métodos

2.1. Zona de estudio

El estudio se ubica en el área afectada por el incendio forestal de la Sierra de Donceles (Hellín, Albacete), acontecido entre el 1 y el 6 de julio de 2012 y que afectó a un total de 6.500 ha de masa forestal. El incendio, iniciado al mediodía, tuvo

una velocidad de propagación de 25-30 metros por minuto debido al viento y a la topografía, quemando en las primeras siete horas el 90% de su superficie total. La severidad del fuego en general fue baja y moderada-baja (Gómez-Sánchez *et al.* 2017), condicionado por el modelo de combustible. La zona pertenece a la cuenca hidrográfica del Segura estando encajada entre los ríos Mundo y Segura, al norte y al sur respectivamente, siendo el primero el afluente más caudaloso del segundo. Geológicamente la cuenca se encuentra dentro de las cordilleras Béticas, más concretamente en la zona Prebética. Los materiales que conforman esta zona son en su mayoría calizas más o menos dolomitizadas, margas y arcillas. El contenido de materia orgánica (MO) en los suelos de la zona es muy bajo, situándose en torno a un 4% en las parcelas control. La altitud de la zona incendiada se encuentra entre los 314 m y los 808 m del nivel del mar. Los datos meteorológicos de la zona se caracterizan por una precipitación anual media de 372 mm, distribuida con dos máximos en octubre (48 mm) y en mayo (47 mm) y un mínimo en junio con 8 mm. La temperatura media es de 16 °C, con una temperatura media de las máximas de 40° (máxima absoluta de 46° en julio) y una temperatura media de las mínimas de -2 °C (mínima absoluta de -14°C en febrero). El clima se clasifica como mediterráneo subárido (Allué, 1990). La vegetación de la zona de estudio estaba dominada por pinares de pino carrasco (*Pinus halepensis* Miller) de origen natural en zonas de vauada, umbrías y/o zonas inaccesibles por la pendiente y pinares procedentes de repoblaciones de escaso desarrollo realizadas hace 25 años por la administración forestal. Los matorrales presentes están compuestos por vegetación principal o acompañante del pino carrasco, tipo espartales (*Helictotricho filifolii-Stipetum tenacissimae* Costa, Peris & Stübing 1989), romerales (*Anthyllido cytisoidis-Cistetum clusii* Br.-Bl., Font Quer, G. Br.-Bl. Frey, Jansen & Morr 1936 corr. O. Bolós 1967), espartales-romerales (mezcla de las anteriores) y tomillares (*Thymo funkii-Anthyllidetum onobrychioidis* Rivas Goday & Rivas Martínez 1969).

2.2. Diseño del experimento

Para la realización del estudio se seleccionó una cuenca hidrográfica de 3 km² con distintos trabajos de restauración post incendio. Dentro de la cuenca, se identifican tres zonas donde la cubierta vegetal fue totalmente arrasada por el fuego acontecido en 2012 pero en las que se llevaron a cabo distintos tipos de trabajos post-incendio, ejecutados inmediatamente después del fuego (fajinas, acordonado, no actuación), y una cuarta zona donde la cubierta arbórea no fue afectada por el fuego. En cada zona se señalaron tres parcelas de muestreo distribuidas aleatoriamente y separadas para evitar problemas de pseudoreplicación, con un total de 12 parcelas caracterizando vegetación, cobertura, pedregosidad y profundidad de suelo (Tabla 1). La exposición de todas las parcelas fue principalmente norte, con 550 m de altitud media y 25% de pendiente media. Antes del incendio la vegetación presente era pinar de carrasco (con fracción de cabida cubierta $F_{cc} > 70\%$) con sotobosque de arbustivas termófilas.

Tabla 1. Tipo, cobertura vegetal, pedregosidad y cubierta vegetal de cada parcela.

Zona	Tipo	Parcela	Cobertura (%)	Pedregosidad (%)	Prof. Suelo (cm)
A	Quemada Fajina	1	89-90	80	7
		2	50-60	60	5
		3	70	80-90	5
B	Quemada Cordón	4	80	80	8
		5	80	70	8
		6	80-85	50-60	5
C	Quemada No actuación	7	70-75	70	20
		8	80	85	20
		9	80	70	8
D	No Quemada	10	95	50-60	20
		11	100	70	20
		12	80	90	12

2.3. Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas

En junio de 2016 se recogieron tres muestras de suelo dispersas al azar dentro de cada parcela, procedentes de los primeros 10 cm de suelo previa retirada del material vegetal. Cada una de las muestras se llevó inmediatamente a laboratorio donde se analizó textura, contenido de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y ratio C/N. En relación a las propiedades microbiológicas, las actividades enzimáticas analizadas fueron la B-glucosidasa, ureasa, fosfatasa, deshidrogenasa, respiración del suelo y carbono de la biomasa (CBM) según protocolos establecidos (Lucas-Borja *et al.*, 2016). También se obtuvo el contenido en nutrientes (P, Ca, Na y K). La metodología seguida para los análisis fue la expuesta en Gómez-Sánchez *et al.*, (in press).

2.4. Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico ANOVA de los datos, en concreto el denominado clasificación única del análisis de la varianza, considerando el tipo de tratamiento (acordonado, fajina, quemado sin actuación y no quemado) como el principal factor. Previamente, el diseño del muestreo permitió considerar todas las muestras como espacialmente independientes; comprobando la normalidad y homocedasticidad de los datos mediante test de Shapiro Wilk y test de Barlett respectivamente, realizando la transformación de las variables mediante la raíz cuadrada cuando fue necesario. Como test de comparación post-hoc se empleó el Test de Tukey. Se estableció un nivel de significación en todas las pruebas del 5% ($P < 0,05$) para rechazar la hipótesis nula (las muestras pertenecen a la misma población, pro-

cediendo las diferencias entre muestras al muestreo), salvo que se indique lo contrario en cada caso.

3. Resultados y discusión

Según los resultados obtenidos, se detectan patrones significativamente diferentes en los parámetros medidos en suelo, lo cual induce a pensar que los tratamientos post-incendio a nivel ladera, tienen un efecto significativo sobre el suelo. Los valores analizados para cada una de las condiciones experimentales pueden verse en las *tablas 2 y 3*. El suelo en la zona puede clasificarse como franco o franco arenoso sin que el paso del fuego ocasione un cambio de clase textural, aunque si induce pequeños cambios en sus fracciones. La fracción arcilla es la que se ve más afectada, disminuyendo entre un 3% y un 8% según tratamientos, correspondiendo la disminución mayor al tratamiento cordón seguido del tratamiento fajina y del no tratamiento, existiendo diferencias significativas entre grupos. La fracción de arena no parece verse afectada, sin diferencias entre tratamientos, mientras que el limo aumenta ligeramente en las zonas quemadas, con un aumento significativo en el caso de las parcelas donde se ha efectuado el tratamiento cordón. Tras un incendio forestal, las diferentes fracciones de textura de un suelo se verán afectadas siempre que se alcancen temperaturas superiores a 400°C, en cuyo caso la repuesta de cada fracción será distinta (Muñoz-Rojas *et al.*, 2015). Las parcelas quemadas con tratamiento presentan mayor contenido en materia orgánica que las no tratadas, con un aumento de más del 3% de media para el tratamiento fajina y del 2% para el cordón. Existen dos grupos que presentan diferencias significativas en sus

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas y contenido de nutrientes para cada una de las parcelas de estudio. Condiciones experimentales con diferente letra indican diferencias significativas según el test de Tukey ($P < 0,05$). Materia Orgánica (MO) Conductividad Eléctrica (CE)

	Tratamiento			
	No quemado	Quemado sin act.	Acordonado	Fajina
Arcilla (%)	9,7±0,1 d	6,3±0,4 c	1,1±0,7 a	3,3±1,8 b
Limo (%)	38,3±0,1 a	41,0±8,9 a	49,5±2,7 b	41,6±5,1 a
Arena (%)	51,9±0,1 a	52,5±8,7 a	49,3±1,9 a	55,0±6,8 a
MO (%)	4,0±0,9 a	4,0±0,8 a	6,0±0,9 b	7,3±1,0 b
pH	8,5±0,2 a	8,4±0,2 a	8,3±0,2 b	8,3±0,2 ab
CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	123,7±11,9 a	165,7±11,52 ab	160,2±10,22 ab	175,6±11,5 b
C/N	11,8±1,0 a	13,7±1,4 b	15,6±0,9 b	14,3±1,1 ab
P (%)	$2,3 \times 10^{-3} \pm 1,3 \times 10^{-5}$ b	$3,2 \times 10^{-3} \pm 1,1 \times 10^{-5}$ a	$4,2 \times 10^{-3} \pm 1,4 \times 10^{-5}$ ab	$7,5 \times 10^{-3} \pm 1,3 \times 10^{-5}$ b
Ca (%)	5,3±0,2 a	5,5±0,6 a	6,2±0,2 a	6,0±0,9 a
Na (%)	0,5±0,1 b	0,5±0,08 b	0,4±0,1 b	0,6±0,1 a
K (%)	0,1±0,05 a	0,2±0,1 b	0,3±0,1 b	0,4±0,1 b

Tabla 3. Propiedades microbiológicas evaluadas para cada una de las parcelas de estudio. Condiciones experimentales con diferente letra indican diferencias significativas según el test de Tukey ($P < 0,05$). Carbono de la biomasa (CBM).

Tratamiento				
	No quemado	Quemado sin act.	Acordonado	Fajina
CBM (mg·C kg ⁻¹)	252,0±33,0 b	483,9±101,0 a	487,5±115,0 a	422,0±87,1 ab
Respiración suelo (µg h ⁻¹ g ⁻¹)	2,5±0,5 b	3,44±1,3 b	4,18±1,1 ab	5,45±0,9 ab
Deshidrogenasa (C gINTF g ⁻¹)	6,28±2,3 a	3,04±0,9 b	2,51±0,3 b	2,65±0,3 b
B-Glucosidasa (umol NH ₄ ⁺ g ⁻¹ h ⁻¹)	1,2±0,2 a	0,6±0,3 b	0,6±0,2 b	1,1±0,2 a
Ureasa (µmol NH ₄ ⁺ g ⁻¹ h ⁻¹)	0,9±0,3 ab	0,4±0,1 b	0,6±0,4 ab	1,1±0,4 a
Fosfatasa ácida (µmol PNP ₄ ⁺ g ⁻¹ h ⁻¹)	0,7±0,3 ab	0,6±0,1 b	0,8±0,1 a	0,9±0,2 a

medias: el compuesto por las parcelas no quemadas (control) y las parcelas quemadas sin tratamiento, frente a las parcelas donde se ha realizado tratamiento de fajina y cordón. Este hecho puede estar generado por dos factores: el efecto barrera/deposición de sedimentos realizado por los cordones y fajinas, y la lenta incorporación de restos procedentes del material vegetal utilizado en su construcción, que favorecerían el aumento de la materia orgánica del suelo (Gómez-Sánchez *et al.*, in press). La relación C/N se sitúa entre 10 de las parcelas control y 16 para el tratamiento cordón, con diferencias significativas entre ambos grupos. Los resultados indican que, en ausencia de tratamiento post-incendio, cinco años tras el fuego, la MO y la relación C/N tienden al equilibrio existente antes del fuego, desapareciendo sus efectos iniciales. Por el contrario, el manejo post-incendio altera dicho equilibrio y produce un incremento en la cantidad de MO y mejora la relación C/N de los suelos, lo que supone una mejora de la calidad edáfica. Las fajinas son el tratamiento que induce mayor aumento de MO, lo que es de esperar dado la deposición de restos aguas arriba de las mismas.

Los valores de pH son altos en todos los grupos (entre 8,2 -8,5), si bien es verdad que el pH para el tratamiento cordón muestra diferencias con el resto de tratamientos salvo con las fajinas, de manera que los tratamientos en ladera disminuirían en una pequeña proporción los valores de pH del suelo. Los valores de conductividad son bajos para todos los tratamientos ($< 0,2$ dS·cm⁻¹), si bien se observa que, en las zonas afectadas por el fuego, la conductividad eléctrica es mayor, oscilando su media entre 160 -175 µS·cm⁻¹ en zonas quemadas, frente a los 124 en las parcelas control. Existen diferencias significativas en la conductividad medida de las parcelas control y la medida en parcelas quemadas con tratamiento fajina, donde la conductividad eléctrica es más alta. Los suelos con baja conductividad indicarían un suelo pobre en nutrientes, estructuralmente inestable y fácilmente dispersable,

mientras que suelos con un valor alto alertarían sobre posibles problemas de salinidad (Smith & Doran, 1996). La concentración de nutrientes es baja en las zonas de estudio. De los tres cationes básicos analizados, el más abundante en la zona es el Ca, alcanzando valores más elevados en las zonas afectadas por el fuego, aunque el test no detecta diferencias significativas entre grupos al igual que ocurre con el Na. La concentración de K se muestra significativamente mayor en parcelas tratadas, duplicándose en el caso de las fajinas. El contenido de P es muy bajo, si bien mayor en las zonas afectadas por el fuego, y presentando diferencias significativas en el caso de las fajinas. Tras el incendio los nutrientes se depositan sobre la superficie del suelo en forma de cenizas o materia orgánica quemada, lo que supone una entrada de nutrientes, y por tanto un incremento en la fertilidad del suelo (Machado *et al.*, 2015). Según los datos obtenidos, los valores de Na y Ca retornan a sus valores preincendio transcurridos cinco años tras el incendio, destacando el comportamiento del K que mantiene un incremento en la zona incendiada y en las parcelas con tratamiento de fajinas o cordones.

En relación a las propiedades microbiológicas, los resultados indican que las actuaciones a nivel ladera favorecen su recuperación incluso superando los valores a los registrados en las zonas control para algunas propiedades. Únicamente la enzima deshidrogenasa presenta significativamente valores más bajos cinco años tras el fuego en relación a las parcelas no quemadas, sin que existan diferencias entre tratamientos. Este hecho puede estar relacionado con su naturaleza extracelular. Los niveles de la enzima B-glucosidasa recupera valores similares tras el fuego en el caso de efectuar fajinas. La respuesta de la enzima ureasa es similar a la de la B-glucosidasa, si bien el no tratamiento induce a valores significativamente más bajos que el tratamiento cordón. Los valores de la fosfatasa ácida se recuperan cinco años después del fuego. La respiración del suelo y el carbono de la biomasa microbiana siguen el mismo patrón descrito que las enzimas anteriormente mencionadas, lo cual está fuertemente relacionado con la recuperación de los contenidos de materia orgánica que se dan en las zonas con tratamientos (Lucas-Borja *et al.*, 2016). En general, está ampliamente aceptado por la comunidad científica, que mayores niveles de las propiedades microbiológicas y enzimáticas en los suelos, se relacionan con una mayor calidad y funcionalidad de los suelos (Bastida *et al.*, 2006).

4. Conclusiones

A partir de los datos obtenidos, se puede concluir en general que el contenido de materia orgánica, propiedades microbiológicas y nutrientes del suelo no parece verse influenciado a medio plazo por el paso del fuego, observándose valores ligeramente más altos en la realización de tratamientos. Podemos concluir pues, que los tratamientos realizados favorecen la recuperación de la funcionalidad del suelo y sus propiedades.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los servicios forestales de la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha, Dirección Provincial de la Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural en Albacete, por la ayuda y asistencia en los trabajos de campo. El trabajo presentado en esta comunicación ha sido financiado por los proyectos “Mejora de la resiliencia y disminución de la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales en ambientes mediterráneos (REVULFO)” financiado por la Diputación de Albacete y la Universidad de Castilla La Mancha y por el proyecto “Reducción de la Severidad del Fuego Mediante Nuevas Herramientas y Tecnologías para la Gestión Integrada de la Protección contra los Incendios Forestales “GEPRIF” (RTA2014-00011-C06-05)”.

5. Bibliografía

- Allué, J.; 1990. *Atlas fitoclimático de España. Taxonomías*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. INIA Madrid.
- Bastida, F.; Moreno, J.L.; Hernández, T. & García, C.; 2006. Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biol and Biochem.*, 8: 3463-3473. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.06.001>
- Badía, D.; Sánchez, C.; Aznar, J.M. & Martí, C.; 2015. Post-fire hillslope log debris dams for runoff and erosion mitigation in the semiarid Ebro Basin. *Geoderma*, 237: 298-307. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.09.004>
- Gómez-Sánchez, M.E., De Las Heras, J., Lucas-Borja, M.E y Moya, D.; 2017. Ajuste de metodologías para evaluar severidad de quemado en zonas semiáridas (SE peninsular): incendio Donceles 2012. *Revista de Teledetección*, 49: 103–113. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7121>
- Gómez-Sánchez, M.E.; Lucas-Borja, M.E.; Plaza-Álvarez, P.A.; González-Romero, J.; Sagra, J.; Moya, D. & De Las Heras, J.; 2018. Effects of postfire hillslope stabilisation techniques on chemical, physico-chemical and microbiological soil properties in Mediterranean forest ecosystems. *J. Environ. Manage.* (In press).
- Lucas-Borja, M.E.; Hedo de Santiago, J.; Candel-Pérez, D.; Cerdá, A. & Viñegla, B.; 2016. Unravelling the importance of forest age stand and forest structure driving microbiological soil properties, enzymatic activities and soil nutrients content in Mediterranean Spanish Black Pine (*Pinus nigra* Ar. ssp. *salzmannii*) *Forest. Sci. Total Environ.*, 562:145-154. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.160>
- Machado, A.I.; Serpa, D.; Ferreira, R.V.; Rodríguez-Blanco, Pinto, R.; Nunes, M.; Cerqueira, M.A. & Keizer, J.; 2015. Cation export by overland flow in a recently burnt forest area in north-central Portugal. *Sci. Total Environ.*, 524: 201–212. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.026>
- Mataix-Solera, J.; Cerdá, A.; 2009. *Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos. Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España*. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. FUEGORED, Cátedra Divulgación de la Ciencia, Universitat de Valencia, Spain, 27-53.

- Muñoz-Rojas, M.; Erickson, T.E.; Martini, D.; Dixon, K.W. & Merritt, D.J.; 2016. Soil physicochemical and microbiological indicators of short, medium and long term post-fire recovery in semi-arid ecosystems. *Ecol Indic.*, 63: 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.038>
- Raftoyannis, Y.; Spanos, I.; 2005. Evaluation of log and branch barriers as post-fire rehabilitation treatments in a Mediterranean pine forest in Greece. *Int J Wildland Fire*, 14: 183-188. <https://doi.org/10.1071/WF04031>
- Robichaud, P.R.; Lewis, S.; Ashmun, L.; 2008. *New procedure for sampling infiltration to assess post-fire soil water repellency*: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. <https://doi.org/10.2737/RMRS-RN-33>
- Smith, J.L.; Doran, J.W.; 1996. *Measurement and Use of pH and Electrical Conductivity for Soil Quality Analysis*. In: Doran, J.W and Jones, A.J., Eds., *Methods For assessing Soil Quality*, Soil Sci Soc Am J, SSSA, Madison, 49.