

5.2.4. IMPACTO SOBRE EL SUELO DE LA QUEMA DE PILAS DE RESTOS LEÑOSOS



OVIHUEC.DAT

Caracterización de la gestión forestal e impulso socioeconómico en zonas de montaña mediante un rebaño comunal en un entorno digital

5.2.4

Impacto en el suelo de la quema en pilas de restos leñosos de desbroce

Convocatoria de ayudas de la Fundación Biodiversidad, en régimen de concurrencia competitiva, para apoyo a proyectos transformadores para la promoción de la bioeconomía ligada al ámbito forestal y la contribución a la transición ecológica (regulada por la Orden TED/1014/2021, de 20 de septiembre, y por la Orden TED/408/2023, de 24 de abril, que modifica la anterior) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia – Financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU para el ejercicio del 2023



5.2.4. IMPACTO SOBRE EL SUELO DE LA QUEMA DE PILAS DE RESTOS LEÑOSOS



Información del documento

Número de informe	5.2.4
Nombre del informe	Impacto en el suelo de la quema en pilas de restos leñosos de desbroce
Descripción del informe	Informe de capacitación de como hacer un análisis del impacto de la quema de restos en las propiedades fisicoquímicas del suelo
Objetivo	Objetivo 5- Ambiente
Actividad	A5.2 Efecto del pastoreo sobre la estructura de la vegetación y sobre el riesgo de incendios
Entidad coordinadora de la actividad	CTFC
Entidades participantes de la actividad	IRTA
Palabras clave	Desbroce, Gestión de restos leñosos, quema en pilas, suelo, fertilidad, nutrientes, carbono
Autores	Jordi Garcia Pausas, Carla Fuentes Boix, Jordi Araque Prat.
Colaboradores	Mar Gallego, Marc Taüll
Aprobado por	Antoni Dalmau Bueno

Advertencia:

Este documento es propiedad de los miembros que conforman el proyecto OVIHUEC.DAT. No está permitida su copia o distribución en ningún caso sin el consentimiento previo de los propietarios de este, quienes tienen los derechos de autor del presente escrito.

Parte de la convocatoria de la Fundación Biodiversidad y financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU. Sin embargo, las opiniones y visiones expresadas son de los autores del documento y no representan necesariamente las de los entes convocantes y financieros. Por lo tanto, ni la Unión Europea ni la entidad convocante pueden ser responsabilizadas por estas.

Comentado [MG1]: Posar qui calgui

5.2.4. IMPACTO SOBRE EL SUELO DE LA QUEMA DE PILAS DE RESTOS LEÑOSOS



Índice

1. Introducción	4
2. Material y métodos	5
3. Resultados	7
3.1. Intensidad del fuego	7
3.2. Impacto en los parámetros fisicoquímicos	9
4. Referencias	12

5.2.4. IMPACTO SOBRE EL SUELO DE LA QUEMA DE PILAS DE RESTOS LEÑOSOS



1. Introducción

Para mejorar el aprovechamiento pastoral en áreas rurales a menudo son necesarios trabajos silvícolas de desbroce para eliminar matorral leñoso o árboles e incrementar el área disponible para el pastoreo. Fruto de estas actividades se generan residuos leñosos que es necesario gestionar. Una práctica habitual es la acumulación de estos residuos en pilas para quemarlos a medida que se van realizando los trabajos. Esta práctica permite la eliminación del residuo y, puede aportar nutrientes al suelo en forma de cenizas. Sin embargo, la gran acumulación de combustible en las pilas hace que la intensidad local del fuego pueda llegar a ser especialmente alta. Esto puede alterar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, lo cual puede generar un impacto importante en la fertilidad del suelo y en la vegetación que posteriormente se desarrolla.

En efecto, fuegos de alta intensidad generan temperaturas en la superficie del suelo que pueden superar los 500°C. El suelo es un mal conductor del calor, y en muchos casos el calentamiento se restringe a los primeros centímetros superficiales. Sin embargo, en el caso de la quema en pilas, la temperatura del suelo puede alcanzar más de 200°C a 10 cm de profundidad (Busse et al, 2013, Neary et al, 1999), que es la parte del suelo más fértil, donde se encuentra la mayor parte de las raíces de herbáceas y con mayor actividad biológica. Esto es debido a la gran cantidad de combustible en las pilas y a la persistencia del fuego durante suficiente tiempo como para que el calor penetre en profundidad. Estas temperaturas están por encima de la capacidad de resistencia de la gran mayoría de los organismos del suelo, con lo cual es probable que las quemas en pilas generen un cambio importante en la composición y/o estructura de las comunidades microbianas (Pérez-Valera et al, 2019), lo cual puede causar cambios en las funciones microbianas del suelo (Garcia-Pausas et al, 2022). Con la muerte de los organismos del suelo se libera una cantidad importante de nutrientes (nitratos, fósforo, etc) y carbono soluble, que pasan a estar momentáneamente disponibles. Además, las altas temperaturas causan una mineralización de N y P orgánicos, incrementándose el contenido amonio, nitratos y fosfatos (Certini, 2005). Sin embargo, si las temperaturas son suficientemente altas, también tiene lugar una pérdida de N por volatilización (Serrasolses & Khanna, 1995). Además, la gran cantidad de cationes alcalinos contenidos en las cenizas suelen incrementar el pH del suelo, así como la conductividad eléctrica del mismo. En algunos casos el fuego también causa un incremento de la hidrofobicidad del suelo y, en casos extremos, los agregados se fracturan, perdiéndose la estructura del suelo, lo cuál libera una cantidad adicional de C y nutrientes previamente protegidos en los agregados.

5.2.4. IMPACTO SOBRE EL SUELO DE LA QUEMA DE PILAS DE RESTOS LEÑOSOS



En el marco del proyecto OVIHUEC, se estudia cómo afecta la quema de restos acumulados en forma de pilas a las características físicoquímicas del suelo. Además, se recogió muestra para el estudio del impacto del fuego en la biota del suelo.

2. Material y métodos

Los restos de desbroce se acumularon cuatro pilas de combustible en una localidad en el municipio de Vilamòs ($42^{\circ}44'56''$ N, $0^{\circ}43'11''$ E), en el Pirineo central. Las quemas se realizaron en terrazas con vegetación herbácea adyacentes a la zona de desbroce. Previo a la quema, se instalaron sensores de temperatura (tipo K) para registrar la duración y la intensidad de los fuegos. Las pilas se quemaron a partir del 9 de abril de 2025 y los muestreos de suelo se realizaron una semana después de la quema y se repitieron cinco meses después.



Figura 1: Imágenes del lugar donde se quemaron la 4 pilas de restos, en septiembre de 2025 (5 meses después de la quema).

5.2.4. IMPACTO SOBRE EL SUELO DE LA QUEMA DE PILAS DE RESTOS LEÑOSOS



De cada pila se tomaron 3 muestras de los 15 cm superficiales del suelo con una sonda prismática de 5 x 5 cm. De las tres muestras de cada pila se obtuvo una muestra compuesta de suelo de cada profundidad (0 - 5 cm y 5 - 15 cm). Se repitió el proceso fuera del área afectada por el fuego (control), a una distancia de no más de 1 m del límite del fuego. En total se obtuvieron 16 muestras en abril (4 de dentro de las pilas y 4 fuera de ellas en cada una de las dos profundidades). En septiembre se repitió el muestreo siguiendo mismo diseño y metodología, del cual se obtuvieron 16 muestras más.

Durante el muestreo, las muestras se manipularon con guantes de látex y entre tratamientos se limpiaron los utensilios con alcohol para evitar contaminaciones ya que se tomaron submuestras para secuenciación de ADN (Figura 2). Las submuestras se separaron *in situ* de las muestras originales, se congelaron, y se enviaron en tubos Falcon de 50 ml al IRTA en frío, para su conservación. El resto de las muestras se secaron al aire para su posterior análisis fisicoquímico.



Figura 2: Imágenes del trabajo de campo en Vilamòs. Fuente: Instagram @irtapirineu

Entre los parámetros fisicoquímicos se ha determinado el pH y la conductividad eléctrica, puesto que el aporte de cenizas puede causar un incremento de la alcalinidad y la salinidad del suelo. También se ha determinado el C orgánico y el nitrógeno total para valorar posibles pérdidas causadas por el fuego. También el contenido en nutrientes, como los nitratos, fósforo disponible, así como micronutrientes como Na, K, Ca y Mg. Finalmente también se determinó la textura del suelo, para poder tener una caracterización completa del suelo sobre el que se realizaron las quemas.

En la Tabla 1 se muestra los análisis realizados, así como la metodología utilizada.

5.2.4. IMPACTO SOBRE EL SUELO DE LA QUEMA DE PILAS DE RESTOS LEÑOSOS



Tabla 1: Análisis fisicoquímicos realizados y metodología utilizada en cada caso

Análisis	Método
pH	Potenciometría
Conductividad eléctrica (CE)	Conductimetría
Carbono orgánico (Corg)	Titulación potenciométrica
Carbonato cálcico equivalente (CaCO_3)	Titración potenciométrica
Nitrógeno total (N)	Conductividad térmica
Nitrógeno nítrico (N-NO_3) (soluble en agua)	Espectrofotometría UV-VIS
Fósforo disponible (Olsen) (P)	Espectrofotometría UV-VIS
Cationes extractables (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+)	Extr. acetato amónico y análisis por espectrometría ICP
Textura USDA	Bouyoucos - densimetría

3. Resultados

3.1. Intensidad del fuego

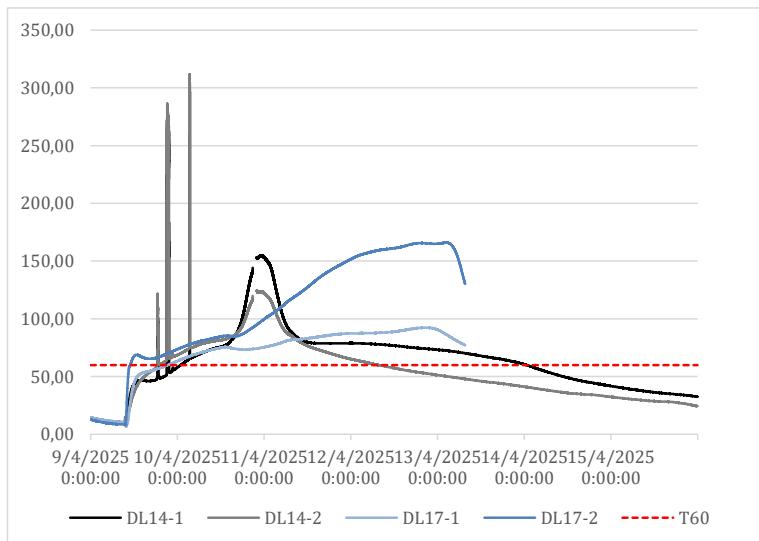
Algunos de los sensores de temperatura se dañaron con el fuego o no funcionaron correctamente. Sin embargo, los datos disponibles indican que, al menos en algunos casos, la intensidad del fuego fue muy alta, con temperaturas que sobrepasaron los 300°C o incluso los 600°C en algún caso (Tabla 2, Figura 3). Además, los tiempos con temperaturas superiores a 60°C fueron en la mayoría de los casos muy altos (Tabla 2, Figura 3), lo cual puede implicar un mayor impacto en las características fisicoquímicas y biológicas del suelo.

5.2.4. IMPACTO SOBRE EL SUELO DE LA QUEMA DE PILAS DE RESTOS LEÑOSOS



Tabla 2: Temperatura máxima y tiempo con temperaturas superiores a 60°C (T60) y 200°C (T200) de los sensores de los que se dispone de datos. Los datos del Datalogger 17 son incompletos y, por lo tanto, el T60 real es superior al indicado. No se dispone de datos de la pila 3.

Pila	ID sensor	Temp máx (°C)	T60 (min)	T200 (min)	Observaciones
1	17-1	92	>4931	0	*Datos incompletos
1	17-2	166	>5560	0	*Datos incompletos
1	14-1	306	5792	39	
1	14-2	312	3664	39	
2	12-2	478	1009	487	
2	11-1	67	392	0	
2	11-1	66	457	0	
3	-	-	-	-	Sin datos
4	8-2	621	607	413	



5.2.4. IMPACTO SOBRE EL SUELO DE LA QUEMA DE PILAS DE RESTOS LEÑOSOS

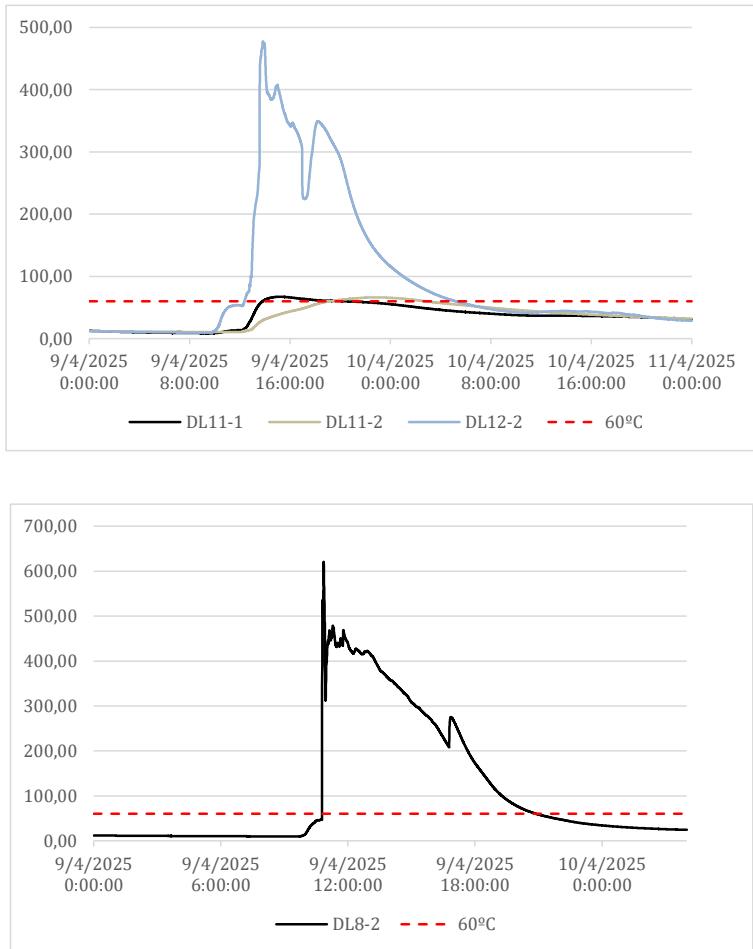


Figura 3: Evolución de la temperatura en la superficie del suelo registrado por los sensores instalados en tres de las pilas. Cada gráfico corresponde a una pila distinta. No se dispone de datos de una de las pilas. Las líneas discontinuas rojas indican el umbral de 60°C.

3.2. Impacto en los parámetros fisicoquímicos

En las Tablas 3 y 4 se muestran las medias y las desviaciones estándar (SD) de las 4 pilas por cada uno de los parámetros analizados en suelos afectados por la quema y no afectados (control) a las dos profundidades consideradas (0-5, 5-15 cm) una semana (Tabla 3) y 5 meses (Tabla 4) después del fuego.

5.2.4. IMPACTO SOBRE EL SUELO DE LA QUEMA DE PILAS DE RESTOS LEÑOSOS



Tabla 3: Parámetros fisicoquímicos del suelo en las pilas (Fuego) y fuera de las pilas (Control) una semana después de la quema, por profundidades.

	0 - 5 cm		5 - 15 cm	
	Fuego	Control	Fuego	Control
pH	9.20	6.50±0.00	7.68±0.27	6.58±0.33
CE (dS m ⁻¹)	0.75±0.17	0.48±0.16	0.28±0.08	0.13±0.0
Corg (mg g ⁻¹)	63.1±17.2	105.0±22.9	36.7±5.5	42.4±4.8
N (mg g ⁻¹)	5.2±0.7	7.1±0.9	3.8±0.1	3.7±0.2
C/N	12.1	14.8	9.7	11.5
CaCO ₃ (%)	7.8±1.72	3.0±0.00	4.0±0.00	<3.0
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	4.63±1.64	115.75±95.93	17.2±13.8	37.00±9.82
P (Olsen) (mg kg ⁻¹)	461.25±67.89	41.53±8.60	33.43±13.43	11.37±7.17
K (mg kg ⁻¹)	2792.0±405.74	1178.5±306.88	1529.7±272.77	815.5±119.01
Ca (mg kg ⁻¹)	6678.7±320.42	4695.3±512.67	3265.0±891.51	2525±709.14
Mg (mg kg ⁻¹)	1015.3±14.06	470.7±37.28	274.75±42.17	213.25±27.13
Na (mg kg ⁻¹)	31.33±4.99	10.35±1.65	10.00±5.81	<2.74
Arena (%)	-	-	58.8±1.86	58.2±2.53
Limo (%)	-	-	33.0±1.87	33.2±2.45
Arcilla (%)	-	-	8.2±0.05	8.6±1.08
Textura	-	-	Franco-arenosa	Franco-arenosa

La mayoría de los efectos detectados a corto plazo después del fuego (Tabla 3) se restringen a los 5 centímetros más superficiales del suelo, mientras que, por debajo, los efectos son mucho más ligeros.

A nivel superficial (0 - 5 cm), la quema de restos causó un aporte importante de cenizas que incrementaron el pH y la conductividad eléctrica del suelo. La alta intensidad del fuego consumió parte de la materia orgánica del suelo más superficial, causando una pérdida importante de carbono. También se detecta una pérdida muy importante de N mineral (NO_3^-), seguramente por volatilización. El gran incremento en el contenido de P Olsen (P disponible) proviene seguramente de la mineralización de materia orgánica, así como de la liberación de P previamente retenido por los microorganismos o protegido por agregados que presumiblemente se han disgregado a causa de las altas temperaturas. También se detecta un notable incremento del contenido de nutrientes, como de K, Ca, Mg y Na, que mayoritariamente deben ser resultado del aporte mineral de las cenizas.

A falta de un análisis estadístico detallado, al nivel subsuperficial el fuego parece que también ha provocado a corto plazo un incremento en el contenido de nutrientes, tanto de la disponibilidad de P, como del contenido de K, Ca, Mg y Na,

5.2.4. IMPACTO SOBRE EL SUELO DE LA QUEMA DE PILAS DE RESTOS LEÑOSOS



que seguramente han llegado por infiltración desde las cenizas superficiales. Esto también provocó un ligero incremento del pH y la conductividad eléctrica. Sin embargo, no se detecta ninguna pérdida de carbono orgánico ni nitrógeno total, probablemente porque el consumo de materia orgánica se restringió al suelo más superficial.

Tabla 4: Parámetros fisicoquímicos del suelo en las pilas (Fuego) y fuera de las pilas (Control) x meses después de la quema, por profundidades.

	0 - 5 cm		5 - 15 cm	
	Fuego	Control	Fuego	Control
pH	7.83±0.67	7.70±0.50	7.28±0.80	6.85±0.60
CE (dS m ⁻¹)	0.29±0.08	0.26±0.10	0.31±0.18	0.19±0.11
Corg (mg g ⁻¹)	45.8±10.8	76.0±7.0	34.7±12.0	41.3±2.3
N (mg g ⁻¹)	3.7±0.9	5.9±1.0	2.8±0.7	3.8±0.6
C/N	12.4	12.9	12.4	10.9
CaCO ₃ (%)	4.00±0.00	5.50±0.00	4.00±1.00	<3
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	54.75±25.67	58.00±38.11	101.75±61.67	82.5±66.81
P (Olsen) (mg kg ⁻¹)	110.83±71.66	89.7±84.15	94.48±121.00	26.96±21.93
K (mg kg ⁻¹)	1936.0±937.79	1188.7±516.91	1700.3±699.26	1012.2±184.84
Ca (mg kg ⁻¹)	4849.5±937.28	4848.0±1371.37	3799.0±1873.40	3062.8±708.85
Mg (mg kg ⁻¹)	504.5±139.29	499.5±158.78	369.75±220.78	246.0±36.56
Na (mg kg ⁻¹)	16.75±5.07	10.18±3.81	11.27±7.78	9.35±5.65
Arena (%)	-	-	59.7±6.00	65.2±2.48
Limo (%)	-	-	30.1±4.73	27.2±2.91
Arcilla (%)	-	-	10.1±2.45	7.7±0.78
Textura	-	-	Franco-arenosa	Franco-arenosa

Cinco meses después del fuego (Tabla 4), tanto el pH o la conductividad eléctrica, como el contenido de nutrientes parece ser similar en los suelos afectados por el fuego y en los suelos control. Sin embargo, sí que persiste a nivel superficial (0 - 5 cm) un menor contenido de C orgánico en los suelos quemados que en los suelos control. También se observa un menor contenido de N total, seguramente ligado a esta pérdida de materia orgánica. A nivel subsuperficial (5 - 15 cm) no parece que persista ningún efecto del fuego en los parámetros estudiados.

En definitiva, la quema de restos leñosos en pilas provoca un fuego de alta intensidad que tiene un impacto importante a corto plazo, modificando la disponibilidad de nutrientes, así como el pH o la conductividad del suelo. La mayoría de estos efectos son transitorios y tienden a desaparecer en unos meses. Sin embargo, hay una pérdida de materia orgánica (carbono orgánico), la recuperación

5.2.4. IMPACTO SOBRE EL SUELO DE LA QUEMA DE PILAS DE RESTOS LEÑOSOS



de la cual se requerirá más tiempo, seguramente mediada por la recuperación de la vegetación y la biota del suelo.

4. Referencias

- Busse MD, Shestak CJ, Hubbert KR. 2013. Soil heating during burning of forest slash piles and wood piles. *Int J Wildland Fire* 22, 786-796
- Certini G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143, 1-10
- Garcia-Pausas J, Romanyà J, Casals P. 2022. Post-fire recovery of soil microbial functions is promoted by plant growth. *Eur J Soil Sci* 73, e13290
- Neary DG, Klopatek CC, DeBano LF, Ffolliot PF. 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *For Ecol Manag* 122, 51-71
- Pérez-Valera E, Goberna M, Verdú M. 2019. Fire modulates functioning through the phylogenetic structure of soil bacterial communities. *Soil Biol Biochem* 129, 80-89
- Serrasolses I, Khanna PK. 1995. Changes in heated and autoclaved forest soils of SE Australia. I. Carbon and nitrogen. *Biogeochemistry* 29, 3-24