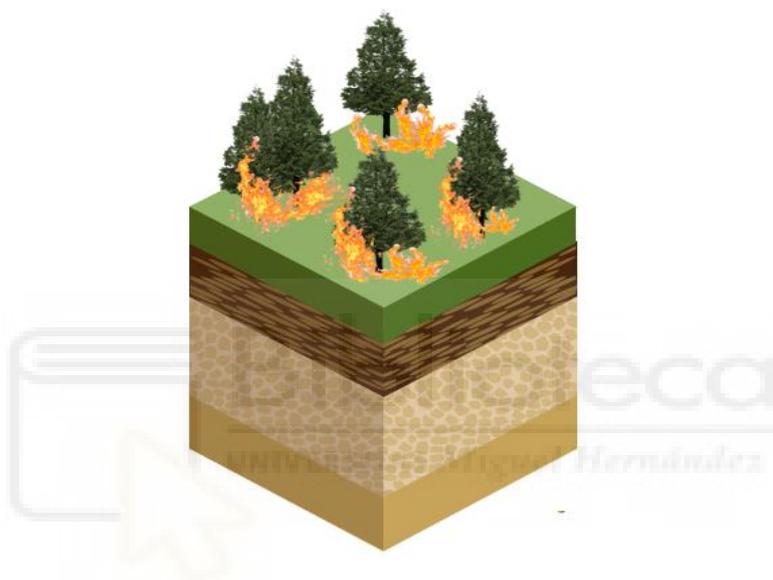




UNIVERSITAS
Miguel Hernández

RESPUESTA DEL SUELO TRAS LA APLICACIÓN DE DOS TRATAMIENTOS POST-INCENDIO (BIOFAJINAS Y MULCH) EN EL SURESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA



ELENA GÓMEZ GOMBAO

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TUTORA: VICTORIA ARCENEGUI BALDO

COTUTOR EXTERNO: ÁLVARO FAJARDO CANTOS

CÓDIGO COIR: TFG.GCA.VAB.EGG.230530

DPTO: AGROQUÍMICA Y MEDIO AMBIENTE

ÁREA DE CONOCIMIENTO: EDAFOLOGÍA Y QUÍMICA AGRÍCOLA

GRADO CIENCIAS AMBIENTALES 2022/2023



CIENCIAS AMBIENTALES
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES



RESUMEN

El fuego es un factor inherente y frecuente en los bosques mediterráneos. No obstante, el cambio climático y la incesante actividad antrópica ofrecen las condiciones necesarias para que se altere el régimen de incendios generando una mayor severidad y recurrencia de incendios forestales, provocando la vulnerabilidad de los ecosistemas. La problemática de la degradación de los ecosistemas en la región mediterránea reside en las negligentes prácticas de agricultura tradicional, falta de gestión forestal y construcción de viviendas en zonas boscosas aumentando el riesgo de incendios de origen antrópico. Es por ello por lo que la restauración de la funcionalidad de los suelos es todo un reto para los gestores de este. Incrementando la importancia del empleo de tratamientos de emergencia post-incendio a fin de evitar la erosión y degradación del suelo. El objetivo de este estudio es evaluar la respuesta en las propiedades del suelo a corto plazo tras un incendio al sureste de la península ibérica una vez se han aplicado dos tratamientos (mulch y biofajinas) y comprobar la eficacia de éstos como tratamientos post-incendio. Los resultados obtenidos muestran que no se han producido tasas de erosión relevantes durante los años de estudio. Además, los resultados de los análisis en las parcelas quemadas y las tratadas muestran síntomas de estrés por parte de los microorganismos del suelo, mostrando mayor eficiencia en las parcelas que están siendo tratadas con mulch y biofajinas.

Palabras clave: tratamiento post-incendio, mulch, biofajinas, suelo mediterráneo.

ABSTRACT

Fire is an inherent and frequent factor in Mediterranean forests. However, climate change and the incessant anthropic activity offer the necessary conditions to alter the fire regime, generating a greater severity and recurrence of forest fires. This makes ecosystems more vulnerable. The problem of ecosystem degradation in the Mediterranean region lies in the negligent practices of traditional agriculture, lack of forest management and construction of houses in wooded areas, increasing the risk of anthropogenic fires. This is why the restoration of soil functionality is a challenge for land managers. Increasing the importance of the use of emergency post-fire treatments to avoid soil erosion and degradation. The objective of this study is to evaluate the short-term response in soil properties after a fire in the southeast of the Iberian Peninsula once two treatments (mulch and contour-felled log debris) have been applied and to check their efficacy as post-fire treatments. The results obtained show that no relevant erosion rates have occurred during the years of study. In addition, the results of the analyses in the burned and treated plots show symptoms of stress by soil microorganisms, showing greater efficiency in the plots being treated with mulch and contour-felled log debris.

Keywords: post-fire treatment, mulch, contour-felled log debris, mediterranean soil

AGRADECIMIENTOS

Gracias al departamento de Agroquímica y Medio Ambiente de la Universidad Miguel Hernández por poner a mi disposición todo el material necesario para la elaboración práctica y teórica de este trabajo de fin de grado.

A mi tutora Victoria Arcenegui Baldo y mi profesor Jorge Mataix Solera por ayudarme en todo lo que he necesitado y darme los mejores consejos no solo para la elaboración de este trabajo, sino durante estos años de universidad y ser todo un referente para mí.

A mi cotutor Álvaro Fajardo Cantos, por su incondicional ayuda.

A Luis por su paciencia y apoyo.

A mis padres, por impulsarme a superarme y darme la oportunidad de llegar hasta aquí.

A mi hermano Darío que elija el camino que elija, será el mejor en lo que haga.

A mis abuelos Apolonia y José Luis, siempre dispuestos a escucharme como nadie.

A Noa, mi confidente y amiga, menos mal que nos encontramos en el camino.

Gracias.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVOS.....	10
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	10
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	10
3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	12
3.2.1. TOMA DE MUESTRAS.....	14
3.2.2. ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	14
3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	15
4. RESULTADOS.....	16
4.1 CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE (CO).....	16
4.2 CARBONO DE LA BIOMASA MICROBIANA (CBM).....	17
4.3 RESPIRACIÓN EDÁFICA BASAL (REB).....	17
4.4 COEFICIENTE METABÓLICO MICROBIANO (qCO_2).....	18
5. DISCUSIÓN.....	19
6. CONCLUSIONES.....	23
7. PROYECCIÓN FUTURA.....	24
8. BIBLIOGRAFÍA.....	25

1. INTRODUCCIÓN

El término incendio forestal, hace referencia a la liberación de calor mediante el proceso de combustión ya sea de origen natural o antrópico (Pausas, 2012) que acontece en ecosistemas terrestres. Tras un incendio la superficie del suelo queda desnuda en mayor o menor grado debido a la eliminación de la vegetación (Bowker et al., 2008; Bento-Gonçalves et al., 2012; Guz y Kulakowski, 2020). Este suceso, aumenta la susceptibilidad del suelo ante eventos de escorrentía, lluvias torrenciales y procesos erosivos (Chamizo et al., 2015). Además, afecta gravemente a las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo (Certini, 2005) como consecuencia de las altas temperaturas que alcanza la superficie terrestre (Pereira et al., 2018; Agbeshie et al., 2022).

Los incendios forestales en la región mediterránea son un factor inherente y frecuente (Bento-Gonçalves et al., 2012; Guz y Kulakowski, 2020). En la España peninsular, el riesgo de incendio es alto debido a las altas temperaturas en los meses de verano (Verdú et al., 2012). Y el riesgo de escorrentía superficial y erosión también es alto (McGuire et al., 2018 ; Tang et al., 2019; Rengers et al., 2020) a causa de la presencia de lluvias muy intensas durante los meses de invierno (Serrano-Notivoli et al., 2017) que como consecuencia causan pérdida inconcebible de suelo y sorpresivas inundaciones (Francos et al., 2023). La severidad del fuego y las lluvias posteriores son los dos factores más influyentes en la producción de escorrentía y sedimentos después de un incendio (Fernández y Vega, 2011). El cambio climático ofrece las condiciones propicias para la presencia cada vez más recurrente de incendios forestales y de mayor magnitud (Mataix-Solera y Cerdá , 2009) cambiando el actual régimen de incendios. Ya que, como ya se ha mencionado, están asociados al aumento de las temperaturas debido a la disminución de la humedad de los ecosistemas y la elevada frecuencia de episodios de lluvias torrenciales provocando cambios en la vegetación de la zona y aumento de la erosión entre otros.

Ciertos parámetros de salud del suelo se ven afectados tras un incendio (Certini, 2005). Tales como cambios en la materia orgánica (MO), pH, nutrientes disponibles,

biota, repelencia al agua, estabilidad de los agregados (Mataix-Solera et al., 2011) y propensión a procesos erosivos derivados efectos directos de un incendio (Doerr et al., 2022).

Los incendios forestales son considerados socialmente como fenómenos destructores de ecosistemas. La idea fundamental de esta postura se basa en la premisa de que hoy en día la mayoría de incendios son provocados por la actividad humana, y se intuye que en circunstancias “naturales” esto no pasaría. Para lograrlo, es necesario examinar la amplitud de cada ecosistema con el fin de discernir si se trata de eventos catastróficos (Pausas, 2012). Aquí reside la importancia de conocer estos regímenes y sus causas para proporcionar una gestión sostenible de los ecosistemas.

Existe resiliencia de algunos ecosistemas frente a los incendios mediante adaptaciones a los mismos. Incluso ciertas áreas del planeta son dependientes del fuego para ser como son (del Gallego, 2023). Esto no quiere decir que los incendios sean inocuos, ya que dependen de la distorsión, velocidad, frecuencia e intensidad del proceso (Pausas, 2012).

La problemática de los incendios en la Región Mediterránea reside en la presencia de incendios forestales de gran magnitud y la incesante degradación del suelo (Mataix-Solera, 2015) debido a la negligencia en la aplicación de prácticas tradicionales en agricultura, la falta de gestión forestal eficiente y la construcción de viviendas en áreas boscosas convirtiéndola en una matriz urbano-forestal, lo que incentiva el riesgo de incendios de origen antrópico (Cerdá y Mataix- Solera, 2009).

Entre los múltiples estudios de efectos de los incendios en suelos (Pereg et al., 2018; Stefan et al., 2022; García-Carmona et al., 2022; Liu et al., 2023) se ha demostrado que las lluvias torrenciales y la constante degradación de los suelos quemados es mayor en zonas de pendiente elevada, es por ello que a fin de limitar la erosión y degradación, es interesante la aplicación de tratamientos tras un incendio (Francos et al., 2021) siendo de gran relevancia las actuaciones de emergencia post-incendio. A fin de “proteger” la primera capa de suelo (MO), se busca mejorar la estructura de este, aumentar la capacidad de retención de agua y nutrientes (Juan-Ovejero et al., 2021) ya que el porcentaje de suelo desnudo es la variable más influyente en la aceleración de

pérdida de suelo por erosión tras un incendio (Wagenbrenner et al., 2006; Fernández y Vega, 2011)

El tratamiento de Mulching es el manejo post-incendio más común a nivel de ladera (Carrà, 2021). Consiste en la aplicación de materiales como la paja, hojas, ramas trituradas, restos de cultivos o madera triturada de la propia zona afectada; además de limitar la erosión, impulsa y agiliza el proceso de regeneración arbórea sin afectar a la diversidad circundante (Bontrager et al., 2019). Su aplicación, busca prevenir los efectos adversos de las gotas de lluvia que impactan en la superficie terrestre y minimizar la disminución de la conductividad hidráulica. En este sentido, se ha observado que la aplicación de una capa de mulch tiene beneficios, ya que aumenta la tasa de infiltración y mejora la calidad del suelo (Figueira et al., 2015). Además, la protección del suelo mediante la cobertura vegetal puede ser efectiva si se implementa correctamente y en el momento oportuno (Prosdocimi et al., 2016) ya que es posible que tenga efectos negativos en relación las tasas de infiltración, que pueden disminuir en el caso de que el suelo esté en condiciones secas y no saturadas (Lucas-Borja et al., 2018).

La última década se ha popularizado el uso de biofajinas o cercas de matorral como método de tratamiento post-incendio. El uso de fajinas se ha utilizado desde la antigüedad (Frossard et al., 2009) pero hasta hace unos años, no se había planteado su eficacia a nivel científico. Es fundamental la existencia de zonas de amortiguación frente a los procesos erosivos e inundaciones (Gril et al., 2007). No solo pueden infiltrarse y ralentizar la escorrentía superficial, sino que también pueden atrapar sólidos suspendidos en esta. Además de mejorar el paisaje y contribuir a la biodiversidad. Las investigaciones en campo han demostrado que son eficaces si se colocan correctamente y se gestionan de forma estratégica (Ouvry et al., 2010).

2. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es evaluar la respuesta a corto plazo de un suelo tras un incendio una vez se han aplicado dos tratamientos post-incendio (mulch y biofajinas) mediante análisis de propiedades químicas y microbiológicas del suelo, y comprobar la eficacia de éstos como tratamientos post-incendio.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio corresponde a la pedanía de Agramón en la provincia de Albacete (Figura 1). Se encuentra ubicada a 564 m s.n.m cuyas coordenadas UTM son 30S (X=619316 Y=4253002) con una extensión de 42 km².

Respecto al clima que presenta la zona, es conocido como Bsk (Estepario frío) que corresponde al mediterráneo típico según la clasificación climática de Köppen-Geiger. La temperatura media anual es de 15,2°C y la precipitación media es de 365 mm anuales de acuerdo con la Agencia Nacional Meteorológica de España comprendido en el periodo 1950–2020 (AEMET, 2022).

Los suelos de la zona de estudio son Calcids según la Soil Taxonomy (Nachtergaele, 2001) y su textura es franco-arenosa.

La geología es típica de las cordilleras de los Sistemas Prebéticos. Encontramos afloramientos de dolomías y calizas alternadas con margas que se remontan al cuaternario.

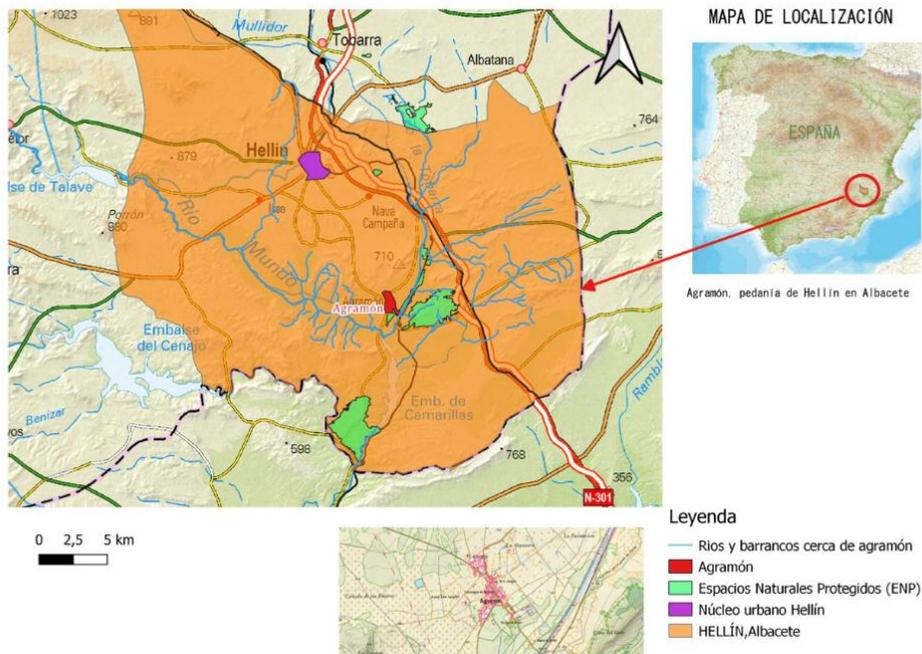


Figura 1. Mapa de la zona de estudio. Corresponde a la pedanía de Agramón, Albacete.

(Fuente: Elaboración propia)

Desde el punto de vista biogeográfico, la zona de estudio en cuestión pertenece a la Provincia Murciano-Almeriense, al subsector Murciano-Septentrional. Por tanto, la vegetación es esencialmente mesomediterránea, semiárida y seca.

La incesante actividad antrópica es responsable del aspecto actual de la zona. La gran extensión de cultivos es culpable de que únicamente en las zonas más difíciles de acceder subsista la vegetación autóctona (Ortega et al., 2023). Respecto a la vegetación dominante, se trata de un pinar de repoblación dominado por *Pinus halepensis* (pino carrasco) como principal especie de estrato arbóreo, reforestado hace aproximadamente 70 años. En el estrato arbustivo predomina la coscoja (*Quercus coccifera*) y otros arbustos típicamente mediterráneos como *Cistus clusii*, *Lavandula latifolia*, *Thymus vulgaris*, *Helichysum stoechas* y *Rosmarinus officinalis*. El estrato herbáceo presenta una gran cobertura y consiste principalmente en especies con *Brachypodium retusum* (lastón), *Stipa tenacissima* (esparto) y *Plantago albicans* (llantén) (Figura 2).

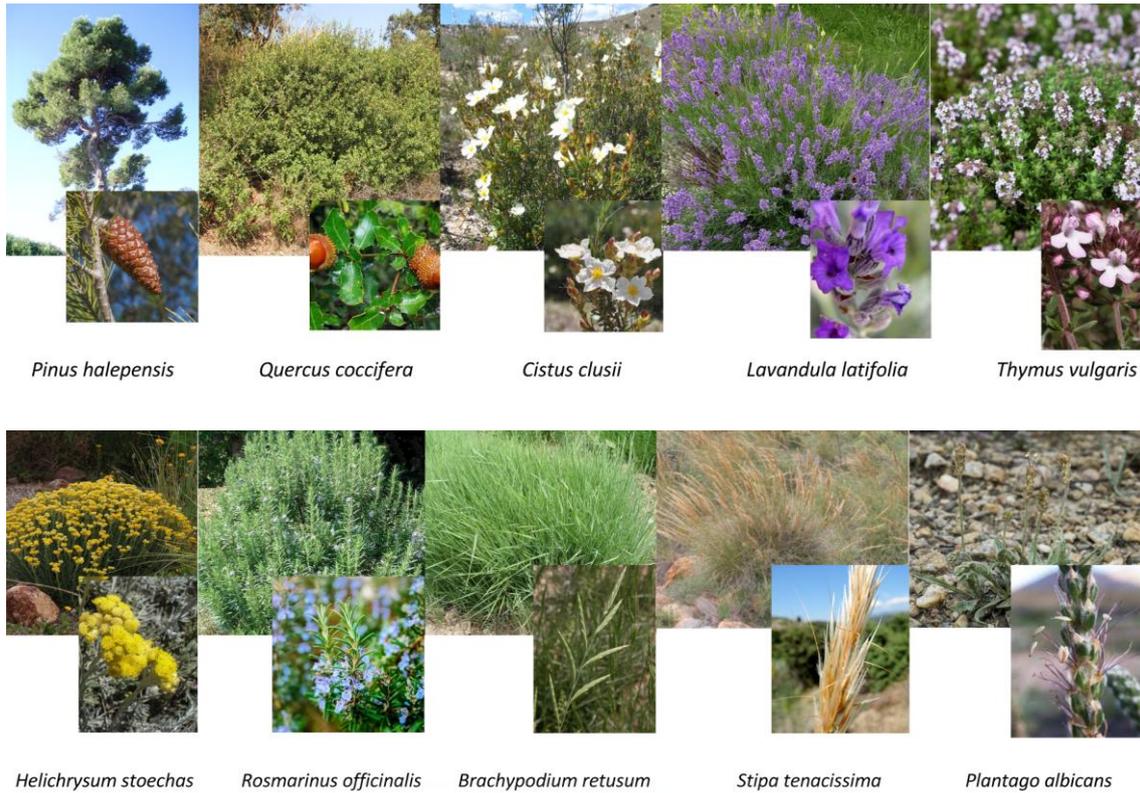


Figura 2. Vegetación dominante de la zona de estudio. Agramón, Albacete. (Fuente: Elaboración propia)

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

El estudio corresponde a un incendio ocurrido en Agramón en julio del año 2020. Se quemaron 503 hectáreas de zona forestal (Figura 3).

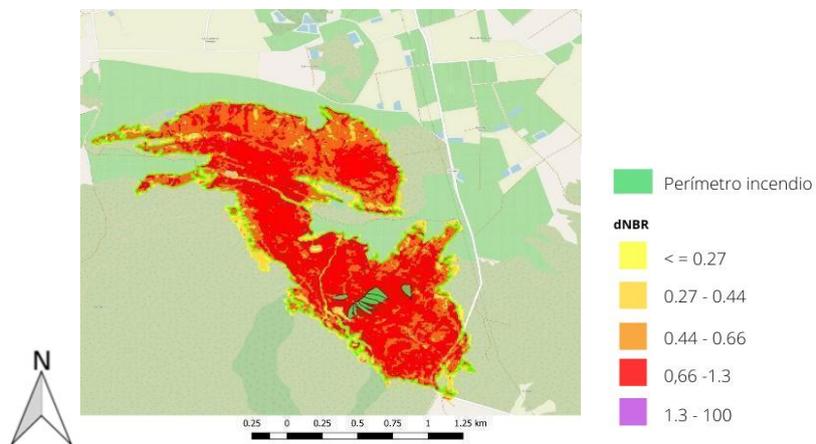


Figura 3. Extensión y severidad del incendio ocurrido en Agramón en julio de 2020. En color verde se aprecia el perímetro del incendio. (Fuente: Elaboración propia).

El incendio ocasionó una mortalidad del 100 % de los árboles presentes (Ortega et al., 2023). Tras haber pasado una semana desde el incendio, se seleccionaron 206 hectáreas de zona forestal y aproximadamente un mes más tarde (Agosto-Septiembre) se aplicaron dos tipos de tratamiento post-incendio de emergencia (Figura 6):

- Tratamiento Mulch (M) de paja con el objeto de proteger el suelo frente a la erosión (Figura 4).
- Biofajinas de celulosa (BF), con el objetivo de frenar flujos de escorrentía y atrapar sedimentos (Figura 5).
- Control (Quemado sin tratamiento, que nos sirve de referencia).



Figura 4. Imagen de una de las parcelas a la que se le aplicó Mulch como tratamiento post-incendio (Fuente: A. Fajardo-Cantos).



Figura 5. Imagen de una de las parcelas a la que se le ha aplicó Biofajinas de celulosa tratamiento post-incendio (Fuente: A. Fajardo-Cantos).

Se realizaron dos muestreos de suelo, el primero en octubre de 2020 (M1) y el segundo en octubre de 2022 (M2) para posteriormente analizar diferentes parámetros edáficos en la Universidad Miguel Hernández de Elche (Figura 6).



Figura 6. Cronología del diseño experimental sobre el incendio ocurrido en Agramón en el año 2020, incluidos los tratamientos post-incendio que se emplearon (Fuente: elaboración propia).



3.2.1. TOMA DE MUESTRAS

Se tomaron 9 muestras para cada uno de los tratamientos post incendio en los primeros 3-5 centímetros del suelo en cada momento de muestreo (3 muestras x 3 parcelas x 3 tratamientos (M, BF y Q) x dos momentos de muestreo (M1 y M2), con un total de 52 muestras analizadas).

Se clasificaron en bolsas y fueron transportadas en un frigorífico a 4°C a la Universidad Miguel Hernández con el fin de realizar los pertinentes análisis.

3.2.2. ANÁLISIS EN EL LABORATORIO

Para el estudio de los efectos de los tratamientos post incendio en el suelo se analizaron los siguientes parámetros químicos y microbiológicos:

Carbono orgánico oxidable (CO) del suelo mediante la oxidación del dicromato potásico por valorización del sulfato ferroso amónico (Walkley-Black, 1934).

Carbono de la biomasa microbiana (CBM) mediante el método de fumigación-extracción con cloroformo (Jenkinson y Powlson, 1976 adaptado de Vance et al., 1987)

Respiración edáfica basal (REB) con el fin de determinar la actividad microbiana del suelo mediante la tasa de producción de dióxido de carbono por parte de los microorganismos presentes en el suelo (Stotzky, 1965). Se empleó un medidor de impedancia automatizado (BacTrac 4200 Microbiological Analyzer, Syllab, Austria) a fin de calcular la cantidad de CO₂ liberado. Este aparato se basa en los cambios de impedancia de una solución de KOH al 2%.

Cociente metabólico microbiano (qCO₂) el cual nos permite conocer la medida de la eficiencia en el uso del carbono por los microorganismos (Anderson y Domsch, 1993).

$$qCO_2 = \frac{REB (\mu g/g/h)}{CBM (mgC/kg\text{suelo})}$$

3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para conocer el efecto de los diferentes tratamientos (Mulch, Biofajinas y Control quemado) sobre las propiedades estudiadas, se ha realizado un análisis de varianza ANOVA de dos vías siendo estos factores el momento del muestreo (M1 y M2) y los tratamientos. Posteriormente, se analizaron las diferencias significativas entre los distintos factores del estudio mediante el HSD test post hoc de Tukey (p-valor<0,05). La

estadística de los valores obtenidos se ha llevado a cabo con el programa RStudio (RStudio Team, 2021).

4. RESULTADOS

4.1 CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE (CO)

La figura 5 muestra los valores de contenido de carbono orgánico oxidable expresados en porcentaje para los diferentes tratamientos y muestreos.

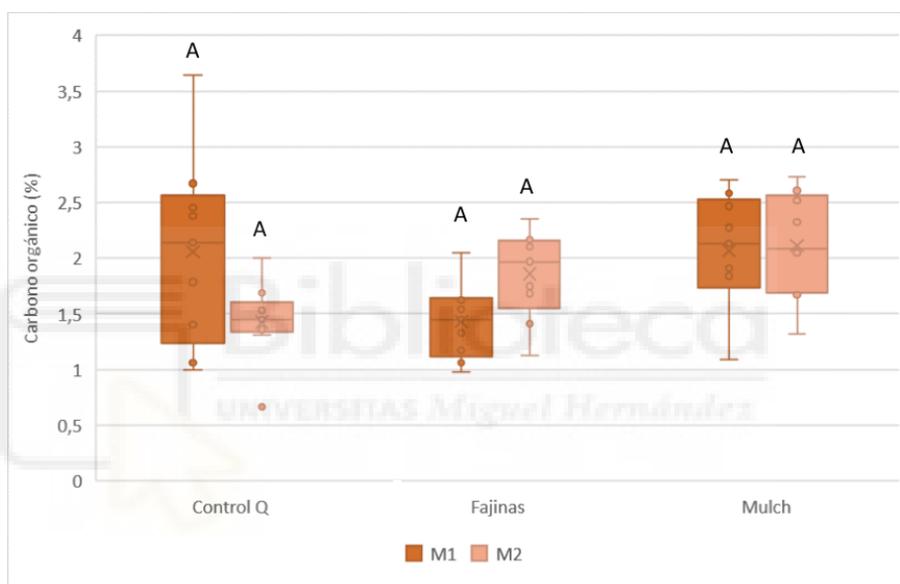


Figura 5. Contenido de Carbono orgánico oxidable (%) en los tratamientos post-incendio estudiados (Control quemado, Fajinas y Mulch) en los diferentes muestreos (M1 y M2). En la figura se muestra el valor medio, la mediana, los cuartiles, y valores mínimos y máximos para los muestreos 1 y 2 ($p < 0,05$).

Los resultados obtenidos no muestran cambios estadísticamente significativos ni entre tratamientos ni muestreos (g.l.=2, $F=0,3$ $p > 0,05$; g.l.= 1, $F=0,1$, $p > 0,05$ respectivamente). No obstante, a pesar de no ser valores significativos, la variabilidad se ha reducido en el segundo año (M2) para el control quemado y se observa un valor medio más bajo de CO.

4.2 CARBONO DE LA BIOMASA MICROBIANA (CBM)

El contenido de CBM ha disminuido significativamente para todos los tratamientos en el M2 respecto al M1 (g.l. = 1, $F=0,42$, $p>0,001$; Figura 6).

Los tratamientos de fajinas y mulch en el M2 (segundo año) no muestran diferencias significativas entre sí, pero sí respecto al control quemado que presenta valores inferiores (g.l. = 2, $F=0,19$, $p<0,001$; Figura 6).

En el M1, los valores de fajinas muestran un ligero aumento no significativo respecto al control quemado (Figura 6). Siendo los valores de mulch significativamente superiores respecto a los otros dos tratamientos en M1.

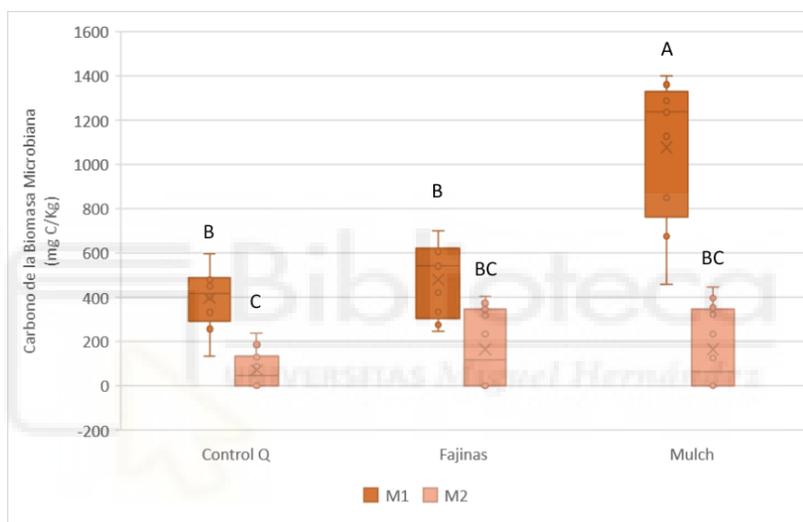


Figura 6. Carbono de la biomasa microbiana (CBM) en los diferentes tratamientos post-incendio estudiados (Control quemado, Fajinas y Mulch) en los diferentes muestreos (M1 y M2). En la figura se muestra el valor medio, la mediana, los cuartiles, y valores mínimos y máximos para los muestreos 1 y 2 ($p<0,05$).

4.2 RESPIRACIÓN EDÁFICA BASAL (REB)

En cuanto a la REB se observó para mulch y control quemado una disminución significativa de los valores del M2 respecto al M1 (g.l. = 2, $F=0,1$, $p<0,001$; g.l. = 1, $F=0,31$; Figura 7). En el caso del tratamiento de fajinas, hay un ligero aumento no significativo en los valores de segundo año respecto al primero.

Entre muestreos, los valores de mulch para el primer año son significativamente más altos respecto al control quemado y a las fajinas. Esto no ocurrió en el segundo año,

en el que se observan valores medios más bajos, aunque no se observaron diferencias significativas entre sí (Figura 7).

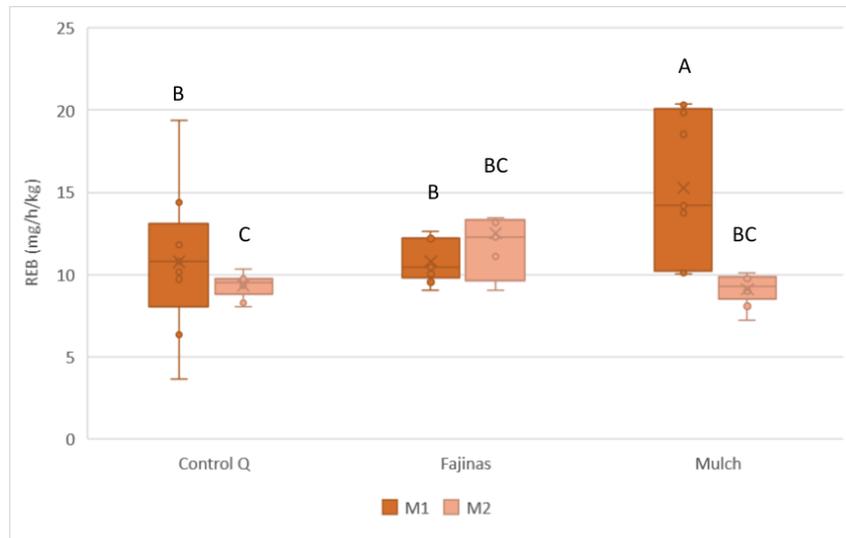


Figura 7. Respiración edáfica basal (REB) en los diferentes tratamientos post-incendio estudiados (Control quemado, Fajinas y Mulch) en los diferentes muestreos (M1 y M2). En la figura se muestra el valor medio, la mediana, los cuartiles, y valores mínimos y máximos para los muestreos 1 y 2 ($p < 0,05$).

4.2 COCIENTE METABÓLICO MICROBIANO (qCO_2)

En la Figura 8 se muestran los valores del cociente metabólico microbiano (qCO_2) obtenido mediante la relación entre la respiración edáfica basal (REB) y el carbono de la biomasa microbiana (CBM).

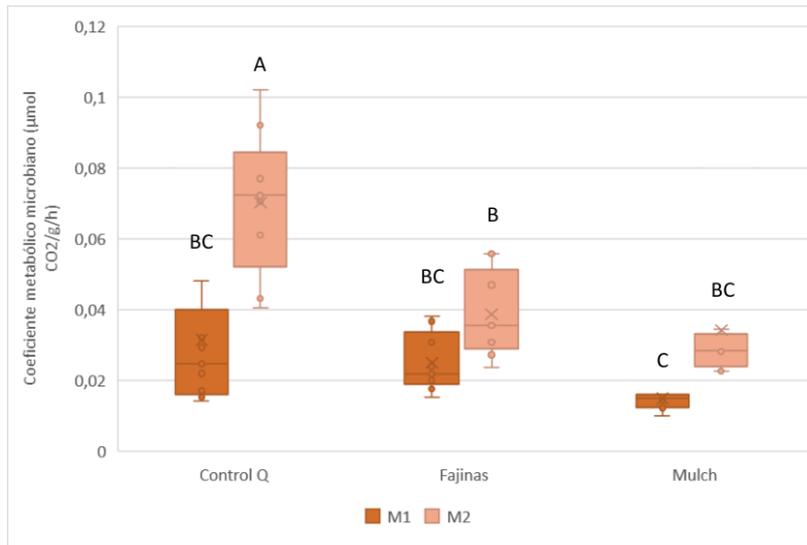


Figura 8. Cociente metabólico microbiano en los diferentes tratamientos post-incendio estudiados (Control quemado, Fajinas y Mulch) en los diferentes muestreos (M1 y M2). En la figura se muestra el valor medio, la mediana, los cuartiles, y valores mínimos y máximos para los muestreos 1 y 2 ($p < 0,05$).

Los niveles de qCO_2 han aumentado significativamente para todos los tratamientos en M2 respecto al M1 (Figura 8).

Los resultados de M2 muestran que los niveles de qCO_2 para el control quemado son significativamente más altos que los de fajinas y mulch. Siendo los niveles de fajinas para este segundo muestreo ligeramente más elevados respecto a los de mulch (Figura 8).

De acuerdo con los niveles de qCO_2 de los tratamientos del primer año (M1), no muestran diferencias significativas entre sí. No obstante, el mulch presenta valores no significativos pero inferiores respecto a los otros tratamientos (g.l. = 2, $F=0,13$, $p < 0,005$; g.l. = 1, $F=0,28$, $p < 0,05$; Figura 8).

5. DISCUSIÓN

Es innegable la existencia del fuego como parte integrante de los ecosistemas (Bodí et al., 2012; Pausas, 2015; Furlanetto et al., 2023). Su relevancia depende de las condiciones climáticas y el suelo, que influyen en las características de la vegetación y

su respuesta frente al fuego (Bodí et al., 2012). En el contexto de los ecosistemas mediterráneos, estas condiciones favorecen la importancia del fuego como un factor ecológico determinante en numerosas situaciones (Rodríguez-López, 2012).

A pesar de ser un factor natural, en la zona del mediterráneo encontramos en algunos casos ecosistemas duramente degradados debido a los reiterados incendios a los que se enfrentan como consecuencia de los cambios de uso del suelo, la acumulación de combustible, del cambio climático y la incesante actividad antrópica que ofrecen las condiciones necesarias para que se produzcan cada vez más frecuentemente y con mayor severidad (Cerdá y Mataix-Solera, 2009). Es por ello por lo que la funcionalidad del suelo es un elemento clave a la hora de valorar la salud del ecosistema y como consecuencia, todo un reto para los gestores del suelo (Ortega et al., 2023). La comunidad microbiana edáfica es crucial para mantener las correctas funciones del suelo debida a su estrecha relación con la dinámica de nutrientes y la materia orgánica (MO), y son imprescindibles en la recuperación de los ecosistemas tras una perturbación, como puede ser un incendio forestal (Gómez-Sánchez et al., 2019 y García-Carmona et al., 2022). Evaluar perturbaciones en el suelo mediante indicadores microbiológicos y bioquímicos nos aporta una información valiosa sobre el impacto que ha tenido con el suelo y su estado de salud (Certini, 2005; Centeno, 2006 y García-Carmona et al., 2023).

Este trabajo ha evaluado la respuesta del suelo tras un incendio comparando parcelas control (quemadas) y parcelas a las que se aplicaron dos tratamientos diferentes con el objetivo de conservar el suelo, y evitar su erosión post- incendio como son el Mulch y las Biofajinas.

Mediante los resultados obtenidos a partir de los pertinentes análisis llevados a cabo en el laboratorio determinamos que los valores de carbono orgánico (CO) son acordes a los que presentan suelos forestales mediterráneos (Zornoza et al., 2007). Aunque no observamos diferencias significativas ni entre tratamientos ni muestreos, estos resultados pueden deberse a la severidad moderada-alta del incendio en toda la zona del estudio, reduciendo el carbón orgánico oxidable por igual en la zona de estudio

(Fontúrbel et al., 2017a). Debido a esas severidades (relacionadas a temperaturas altas alcanzadas) no varió ni recuperó el carbono orgánico oxidable durante el periodo de muestreos, aunque si se observan tasas parecidas en las zonas con tratamiento aplicado, puede ser debido a la acumulación de MO en comparación con el control (Fontúrbel et al., 2017b).

El proceso de erosión está determinado principalmente por la capacidad de las lluvias de movilizar partículas sólidas por salpicadura y posteriormente ser transportadas por escorrentía superficial. Diversos estudios han demostrado que, tras un incendio, el proceso de escorrentía superficial facilita la erosión de las cenizas y de los horizontes orgánicos superficiales del suelo con abundantes nutrientes además de pérdida de suelo mineral (Benavides-Solorio y MacDonald, 2005; Fernández y Vega, 2011; Pereira et al., 2018). Es por ello por lo que el aumento de la frecuencia de los incendios forestales, así como el crecimiento de la intensidad de eventos de lluvia torrencial, han sido mencionados por varios investigadores como consecuencia clave del cambio global en los ecosistemas mediterráneos (Moreno et al., 2007; Ortega et al., 2023; Francos et al., 2023). Tras un incendio, la capa de cenizas que se deposita sobre el suelo ofrece protección temporal contra los procesos erosivos. Sin embargo, la efectividad de esta protección está estrechamente ligada a la severidad del incendio y la composición de la ceniza resultante (Llovería et al., 2014). En situaciones donde la severidad del incendio es alta, la ceniza generada suele ser muy fina y puede integrarse fácilmente en el perfil del suelo, obstruyendo los poros y reduciendo la capacidad de infiltración del agua (León et al., 2013). Esto conlleva a mayor cantidad de suelo desnudo, ya que la ceniza ligera puede ser fácilmente arrastrada por el viento o lluvia. Además, las cenizas producidas por incendios de alta severidad contienen altos niveles de carbonatos que, al humedecerse, forman una costra en la capa superior del suelo, incrementando la escorrentía superficial (Pereira et al., 2018), contribuyendo significativamente a la erosión y degradación del suelo.

Sabemos que el contenido de MO, dependiente de la estructura y porosidad del suelo de la parte superficial de éste se ve afectado tras un incendio (Fernández y Vega, 2011).

Las altas temperaturas en la superficie del suelo tienen un impacto significativo en la cantidad y composición de la MO presente (Merino et al., 2018). Se han identificado cambios significativos en la composición de la MO del suelo, especialmente en el rango de temperaturas entre 205° y 450°C (Araya et al., 2017). Durante el proceso de combustión de la MO se destruyen los agregados estables del suelo (Arcenegui et al., 2008; González–Pérez et al., 2011). Como ya se ha comentado, los procesos erosivos se pueden agravar significativamente si tras el incendio se producen lluvias de gran intensidad. La eliminación de la capa superficial del suelo es especialmente preocupante, ya que puede dar lugar a una considerable pérdida de MO y nutrientes (García-Cano et al., 2000), hecho que diversos estudios han cuantificado (Francos et al., 2023; Prats et al., 2023).

En el ámbito de la restauración de áreas afectadas por incendios forestales, se han implementados diversos tratamientos post-incendio de emergencia en los que se incluye el mulching y las biofajinas demostrando ser efectivos a fin de frenar la erosión del suelo (Fernández y Vega, 2016; Gómez-Sánchez et al., 2019.; Ortega et al., 2023). A través de investigaciones científicas, se ha evidenciado que la aplicación de estas estrategias ha contribuido a mitigar los procesos erosivos y minimizar la pérdida de MO en ecosistemas afectados por incendios forestales (Lucas-Borja et al., 2019; Lucas-Borja et al., 2022; García-Carmona et al., 2023; Francos et al., 2023; Ortega et al., 2023). Lucas-Borja y su equipo en 2022 lograron comprobar que en bosques de pino carrasco que han sufrido los efectos de un incendio, el tratamiento de mulch reduce la erosión respecto a las parcelas quemadas. García-Carmona (2023) y sus compañeros de grupo de investigación determinaron que el mulch a corto plazo no tenía un impacto significativo en las propiedades fisicoquímicas de un suelo de un bosque mediterráneo tras un incendio. Sin embargo, pasado un tiempo aumentaron los valores de REB y el CBM. Ortega et al. (2023) determinaron que los valores de REB eran mayores en el suelo cubierto con mulch respecto a los valores de suelo quemado sin tratamiento, incluso los no quemados.

En general, una perturbación como un incendio, dependiendo su intensidad y duración, el ecosistema bacteriano presente en el suelo se reduce significativamente. No obstante, numerosos estudios han demostrado que debido a los cambios abióticos,

al poco tiempo aumenta masivamente la cantidad de bacterias presentes en el suelo (Lombao et al., 2013; Sáenz, 2006). Debido a la falta de vegetación tras un incendio y el aporte de cenizas aumenta la temperatura del suelo, se elevan los valores de pH y humedad. Aumenta la radiación y aporte de nutrientes por parte de las cenizas (Doerr et al., 2022). Esto podría justificar los valores bajos de CBM y más elevados de REB reflejados en un aumento del cociente metabólico qCO_2 , más alto en el control quemado del segundo muestreo respecto a los otros dos tratamientos. Estos valores son síntomas de estrés, un valor más alto muestra ineficiencia de los microorganismos tras el incendio en el uso del carbono orgánico (Fernández-Palacios, 2005). Es por ello por lo que es positivo la presencia de valores más elevados de qCO_2 en el control quemado que en los tratamientos, lo que nos indica que los microorganismos están siendo más eficientes en las parcelas que están siendo tratadas.

Debemos tener en cuenta que los valores observados en la aplicación de mulch para el primer año en ciertos parámetros microbiológicos como en la REB y en CBM se debe a que se trata de un material que se degrada con facilidad y se incorpora al suelo (Bastian et al., 2009). Sin embargo, en el caso de las biofajinas de celulosa, se trata de un material más denso y se incorpora al suelo tras varios intervalos lluviosos. Además, contienen semillas de especies de plantas herbáceas anuales que tras el primer año crecen y aportan nutrientes al suelo, mientras que al segundo año mueren incorporándose al suelo aportando materia orgánica (Poza-García, 2021).

Los resultados de este estudio muestran valores mayores del CBM en el tratamiento de mulch frente a las fajinas y al control quemado. Además de representar los valores más bajos de qCO_2 , indicando mayor eficiencia de los microorganismos del suelo en las parcelas tratadas con mulch. Diversos estudios han cuantificado el tratamiento de emergencia mulch como el más efectivo frente a la erosión (Filgueira et al., 2016; Robichaud et al., 2000; Vega et al., 2013).

6. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los objetivos planteados y los resultados obtenidos se puede concluir que:

En la zona de Agramón durante los años de estudio no debe haber habido tasas de erosión post-incendio relevantes según los indicadores del suelo medidos.

Los resultados muestran que tras aplicar los tratamientos estudiados los microorganismos muestran mayor eficiencia en el uso del carbono que en la zona control quemada sin tratamiento, siendo estos algo mejores en el tratamiento de mulch que el de biofajinas.

Por ello, podemos confirmar que durante estos años de estudio y con estas condiciones en esta región, los tratamientos de mulch y biofajinas han sido eficientes.

7. PROYECCIÓN FUTURA

Tras evaluar los tratamientos de mulch y biofajinas como tratamientos post-incendio a corto plazo y concluir su eficacia, consideramos que sería interesante continuar el estudio valorando otros parámetros químicos, microbiológicos y físicos. Además de avanzar en la evaluación de los efectos de las biofajinas como tratamiento de emergencia post-incendio, ya que se popularizó hace relativamente poco y consideramos que sería interesante medir sus efectos a corto y medio plazo y sobre la biodiversidad tras un incendio, y en otras zonas con condiciones de suelo y clima diferente.

Comprender la eficacia y los resultados de los tratamientos aplicados representa un paso esencial para ampliar nuestra comprensión sobre los impactos de la media-alta severidad de incendios en el suelo y la interacción planta-suelo. En el contexto de la gestión forestal, resulta de suma importancia que los gestores cuenten con herramientas sólidas para evaluar tanto la viabilidad económica como los beneficios a largo plazo de las acciones de emergencia post-incendio. La evaluación de los rendimientos económicos, en términos de coste-beneficio, puede proporcionar información valiosa que permita a los gestores tomar decisiones informadas acerca de la implementación de estrategias como mulching y biofajinas. Además, analizar las tasas de erosión resultantes de estas medidas puede ayudar a determinar su efectividad en la reducción de la pérdida de suelo y, por ende, a garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los ecosistemas forestales afectados por incendios.

Estas proyecciones futuras de investigación no sólo enriquecerán la comprensión científica de los procesos involucrados, sino que también proporcionarán una base sólida para la toma de decisiones fundamentadas en la gestión forestal post-incendio.



8. BIBLIOGRAFÍA

- AEMET - Agencia Estatal de Meteorología del Gobierno de España (2023, 25 de Febrero). Datos meteorológicos de la estación de Hellín, Albacete, España. <https://www.aemet.es/es/portada>.
- Anderson, T. H., & Domsch, A. K. (1993). The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil biology and biochemistry*, 25(3), 393-395.
- Araya, S. N., Fogel, M. L. & Berhe, A. A. (2017). Thermal alteration of soil organic matter properties: a systematic study to infer response of Sierra Nevada climosequence soils to forest fires. *Soil*, 3(1), 31-44.
- Arcenegui, V., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Zornoza, R., Mataix-Beneyto, J. & García-Orenes, F. (2008). Immediate effects of wildfires on water repellency and aggregate stability in Mediterranean calcareous soils. *Catena*, 74(3), 219-226.
- Bastian, F., Bouziri, L. Nicolardot, B. & Ranjard, L. (2009). Impact of wheat straw decomposition on successional patterns of soil microbial community structure. *Soil Biology and Biochemistry* 41(2): 262-275.
- Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Úbeda, X. & Martin, D. (2012). Fire and soils: key concepts and recent advances. *Geoderma*, 191, 3-13.
- Benavides-Solorio, J. d. D. & MacDonald, L., H. (2005). Measurement and prediction of post-fire erosion at the hillslope scale, Colorado Front Range. *International Journal of Wildland Fire* 14(4): 457-474.
- Bontrager, J. D., Morgan, P., Hudak, A. T. & Robichaud, P. R. (2019). Long-term vegetation response following post-fire straw mulching. *Fire Ecology*, 15, 1-12.
- Bodí, M. B., Cerdà, A., Mataix-Solera, J. & Doerr, SH (2012). Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: revisión bibliográfica. *Boletín de la asociación de Geógrafos Españoles*.

- García-Cano, M. G., Segarra, J. C., DeLuis, M., Raventós, J. M., Sánchez, J. R., & Hidalgo, J. C. G. (2000). Degradación del suelo asociada a la erosión en un aulajar quemado afectado por lluvia torrencial. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (9), 145-154.
- Carrà, B. G., Bombino, G., Denisi, P., Plaza-Àlvarez, P. A., Lucas-Borja, M. E., & Zema, D. A. (2021). Water infiltration after prescribed fire and soil mulching with fern in mediterranean forests. *Hydrology*, 8(3), 95.
- Centeno, M. B. H. (2006). Evaluación de la salud del suelo mediante indicadores de funcionalidad biogeoquímica y estructura de la comunidad microbiana: aplicación al seguimiento de la restauración de los suelos de la cuenca del Guadamar tras el vertido minero de Aznalcóllar (Doctoral dissertation, Universidad de Jaén).
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143(1): 1-10.
- del Gallego, S. H. (2023). *Resiliencia de ecosistemas propensos al fuego: eficiencia de las medidas de restauración post-incendio* (Doctoral dissertation, Universidad de León).
- Doerr, S. H., Santín, C. & Mataix-Solera, J. (2022). Fire effects on soil. En Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences (p.B9780128229743002000). Elsevier.
- Fernández-Palacios, J. M., Gallardo, A. & Durán, J. (2005). Efecto del fuego sobre la biomasa microbiana del suelo de ecosistemas de pino canario (*Pinus Canariensis*).
- Francos, M., Sánchez-García, C., Girona-García, A. & Fernández-García, V. (2021). Influence of topography on sediment dynamics and soil chemical properties in a Mediterranean forest historically affected by wildfires: NE Iberian Peninsula. *Environmental Earth Sciences*, 80 (12), 436.
- Francos, M., Vieira, A., Bento-Gonçalves, A., Úbeda, X., Zema, D. A. & Lucas-Borja, M. E. (2023). Effects of wildfire, torrential rainfall and straw mulching on the

physicochemical soil properties in a Mediterranean forest. *Ecological Engineering*, 192, 106987.

Frossard, P. A. & Évette, A. (2009). Le génie végétal pour la lutte contre l'érosion en rivière: une tradition millénaire en constante évolution. *Sciences Eaux & Territoires*, (Spécial Ingénieries-EAT-29), 99-109.

Fernández, C. & Vega, J. (2016). Efectos de la aplicación de mulch para el control de la erosión post-incendio sobre la recuperación de la vegetación en áreas de matorral. *Cuadernos De La Sociedad Española De Ciencias Forestales*, (42).

Filgueira, C. F. & Hidalgo, J. A. V. (2016). Efectos de la aplicación de mulch para el control de la erosión post-incendio sobre la recuperación de la vegetación en áreas de matorral. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (42), 103-110.

Fontúrbel Lliteras, M.T., Fernández Filgueira, Vega Hidalgo, J.A., Merino, A. (2017a). Cambios en el carbono orgánico y en propiedades físicas del suelo después de incendios de distinta severidad. Presentado en el 7o Congreso Forestal Español. Gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía, Plasencia, España.

Fernández, C. y Vega A. J. (2011). Erosión después de incendios forestales. [file:///C:/Users/pc/Downloads/Dialnet-ErosionDespuesDeIncendiosForestales-3869039%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/Dialnet-ErosionDespuesDeIncendiosForestales-3869039%20(4).pdf)

Fontúrbel Lliteras, M. T., Jiménez Carmona, E., Fernández Filguera, C., Vega Hidalgo, J. A. (2017b). Efectos inmediatos de quemas prescritas bajo arbolado en masas puras y mixtas (*Pinus nigra*, *Pinus pinaster*) de la provincia de Cuenca en propiedades del suelo. Presentado en el 7o Congreso Forestal Español. Gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía, Plasencia, España.

García-Carmona, M., Lepinay, C., García-Orenes, F., Baldrian, P., Arcenegui, V., Cajthaml, T. & Mataix-Solera, J. (2022). Moss biocrust accelerates the recovery and

- resilience of soil microbial communities in fire-affected semi-arid Mediterranean soils. *Science of the Total Environment*, 846, 157467.
- García-Carmona, M., Lepinay, C., Mataix-Solera, J., Baldrian, P., Arcenegui, V., Cajthaml, T., & García-Orenes, F. (2023). Post-fire wood mulch negatively affects the moss biocrust cover and its positive effects on microbial diversity in a semi-arid Mediterranean forest. *Applied Soil Ecology*, 191, 105026.
- González-Pérez, J. A., González-Vázquez, R., Rosa Arranz, J. M. & González-Vila, F. J. (2011). El fuego y la materia orgánica del suelo. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/49248/1/El%20fuego%20y%20la%20materia%20org%C3%A1nica%20del%20suelo.pdf>
- Gómez-Sánchez, E., Lucas-Borja, M. E., Plaza-Álvarez, P. A., González-Romero, J., Sagra J., Moya D. and De Las Heras J. (2019). "Effects of post-fire hillslope stabilization techniques on chemical, physico-chemical and microbiological soil properties in mediterranean forest ecosystems. *Journal of Environmental Management* 246: 229-238.
- Jenkinson, D. and Powlson, D. (1976). The effects of biocidal treatments on metabolism in soil: a method for measuring soil biomass. *Soil biology and Biochemistry*, 8, 209-213.
- Juan-Ovejero, R., Molinas-Gonzalez, C. R., Leverkus, A. B., Peinado, F. J. M. & Castro, J. (2021). Decadal effect of post-fire management treatments on soil carbon and nutrient concentrations in a burnt Mediterranean forest. *Forest Ecology and Management*, 498, 119570.
- Moreno J. M., Urbieto I.R. , Bedia J., Gutiérrez J.M. ,Vallejo V.R. (2007). Los incendios forestales en España ante el cambio climático. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. <https://www.miteco.gob.es/>
- León, J., Bodí, M. B., Cerdà, A., & Badía, D. (2013). The contrasted response of ash to wetting: the effects of ash type, thickness and rainfall events. *Geoderma*, 209, 143-152.

- Liu, W., Zhang, Z., Li, J., Wen, Y., Liu, F., Zhang, W. & Han, X. (2023). Effects of fire on the soil microbial metabolic quotient: A global meta-analysis. *Catena*, 224, 106957.
- Lombao, A., Barreiro, A., Martín, A., Carballas, T. & Díaz Raviña, M. (2013). Impacto de un incendio de alta intensidad y dos tratamientos de protección del suelo sobre la estructura de la comunidad microbiana en un suelo de Laza (Ourense, NW de España). *Flamma* 4(1):23-26(2013).
- Rodríguez-López, J. (2012). Percepción social del fuego forestal y su ecología: la necesidad de un cambio de orientación. *Foresta*, (56), 46-55.
- Lucas-Borja, M. E., Zema, D. A., Carrà, B.G., Cerdá, A., Plaza-Álvarez, P. A., Cozar, J. S., González-Romero, J., Moyá, D. & de las Heras, J. (2018). Cambios a corto plazo en la infiltración entre suelos cubiertos con paja y sin cubrir después de incendios forestales en ecosistemas forestales mediterráneos. *Ecol. Ing.* 2018, 122, 27-31.
- Lucas-Borja, M. E., Gómez Sánchez M. E., Plaza-Álvarez P. A., Romero J. G., Sagra J., Navarro D. M. & Ibañez J. D. I. H. (2019). Efecto de los trabajos de restauración forestal post-incendio en ladera sobre la recuperación de la funcionalidad del suelo. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 45(1): 35-44.
- Lucas-Borja, M. E., de las Heras, J., Navarro M. D., González-Romero, j., Peña-Molina, E., Navidi M., Fajardo-Cantos A., Mellado M. I., Plaza-Alvarez, A. P., Carrà G. B., Wagenbrenner W. J. & Zema A. D. (2022) Short-term effects of prescribed fires with different severity on rainsplash erosion and physico-chemical properties of surface soil in Mediterranean forests, *Journal of Environmental Management*, Volume 322, 2022, 116143, ISSN 0301-4797,
- Llovería, R. M., Cabello, F. P., Martín, A. G., Vlassova, L., & de la Riva Fernández, J. R. (2014). La severidad del fuego: revisión de conceptos, métodos y efectos ambientales. *Geoecología, cambio ambiental y paisaje: homenaje al profesor José María García Ruiz*, 427-440.
- Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Arcenegui, V., Jordán, A. & Zavala, L. M. (2011). Fire effects on soil aggregation: a review. *Earth-Science Reviews*, 109(1-2), 44-60.

- Mataix-Solera, J. & Cerdà, A. (2009). Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos. *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España*, 25-53.
- Merino, A., Fonturbel, M. T., Fernández, C., Chávez-Vergara, B., García-Oliva, F., & Vega, J. A. (2018). Inferring changes in soil organic matter in post-wildfire soil burn severity levels in a temperate climate. *Science of the Total Environment*, 627, 622-632.
- Moreno, R. J.M., Rodríguez-Urbieta, I., Zalava E. G., Martín, M. (2007), 14 capítulo 11. Cambio climático y riesgo de incendios forestales en Castilla-La Mancha. https://www.castillalamancha.es/sites/default/files/documentos/pdf/20121003/14_capitulo11_incendios_forestales.pdf
- Nachtergaele, F.O. (2001). Soil taxonomy—a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys: Second edition, by Soil Survey Staff, 1999, USDA–NRCS, Agriculture Handbook number 436, Hardbound. *Geoderma*, 99, 336-337.
- Nacional, I.G. *Geoportal Oficial del Instituto geográfico nacional de España, Inicio*. <https://www.ign.es/web/ign/portal> (Acceso: 17 Junio 2023).
- Ortega, R., Miralles, I., Soria, R., Rodríguez-Berbel, N., Villafuerte, A. B., Zema, D. A., & Lucas-Borja, M. E. (2023). Short-term effects of post-fire soil mulching with wheat straw and wood chips on the enzymatic activities in a Mediterranean pine forest. *Science of The Total Environment*, 857, 159489
- Ouvry, J. F., Le Bissonnais, Y., Martin, P., Bricard, O. & Souchere, V. (2010). Les couverts herbacés comme outils de réduction des pertes en terre par érosion hydrique. *Fourrages*, 202(202), 103-110.
- Pausas, J. G. (2012). *Incendios forestales*. La Catarata. 9788483197141
- Pausas, J. G. (2015). Evolutionary fire ecology: lessons learned from pines. *Trends in Plant Science*, 20(5), 318-324.
- Pereg, L., Mataix-Solera, J., McMillan, M. & García-Orenes, F. (2018). The impact of post-fire salvage logging on microbial nitrogen cyclers in Mediterranean forest soil. *Science of the Total Environment*, 619, 1079-1087.

- Pereira, P., M., Francos, E. C., Brevik, X., Úbeda & I. Bogunovic (2018). Post-fire soil management. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 5: 26-32.
- Prosdocimi, M.; Tarolli, P. Cerdà, A. (2016). Prácticas de mulching para reducir la erosión hídrica del suelo: una revisión. *Ciencias de la Tierra Rev*, 161, 191–203.
- Prats, S. A., Serpa, D., Santos, L. & Keizer, J. J. (2023). Effects of forest residue mulching on organic matter and nutrient exports after wildfire in North-Central Portugal. *Science of The Total Environment*, 885, 163825.
- Poza-García, F. J. D. L. (2021). *Desarrollo de criterios para el diagnóstico de las medidas de emergencia post incendio en proyectos de restauración forestal* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Rstudio Team, 2021. Rstudio: Integrated Development for R. RStudio, IncBoston, MA
URL <https://posit.co/>.
- Rengers, F. K., McGuire, L. A., Oakley, N. S., Kean, J. W., Staley, D. M. & Tang, H. (2020). Landslides after wildfire: Initiation, magnitude, and mobility. *Landslides*, 17, 2631-2641.
- Robichaud, P. R. (2000). Evaluating the effectiveness of postfire rehabilitation treatments (No. 63). US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Serrano-Notivol, R., Beguería, S., Saz, M. Á., Longares, L. A. & de Luis, M. (2017). SPREAD: a high-resolution daily gridded precipitation dataset for Spain—an extreme events frequency and intensity overview. *Earth System Science Data*, 9(2), 721-738.
- Stotzky G., (1965). Microbial respiration. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. Vol. 9. (pp 1550-1572).
- Vega, J. A., Fontúrbel, T. & Fernández, C. (2013). *Acciones urgentes contra la erosión en áreas forestales quemadas: Guía para su planificación en Galicia*. Xunta de Galicia.
- Wagenbrenner, J. W., MacDonald, L. H., & Rough, D. (2006). Effectiveness of three post-fire rehabilitation treatments in the Colorado Front Range. *Hydrological Processes*, 20 (14), 2989-3006.

Walkley A. and Black I., (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*.37, 29-38.

Zornoza, R., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Arcenegui, V., Mayoral, A. M., Morales, J. & Mataix-Beneyto, J. (2007). Soil properties under natural forest in the Alicante Province of Spain. *Geoderma*, 142(3–4), 334–341.

