



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1344

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





Efectividad de medidas postfuego en la reducción de escorrentía y erosión en ecosistemas forestales mediterráneos.

PLAZA-ÁLVAREZ P.A.(1), CARMONA-YÁÑEZ M.D.(1), ZEMA D.A.(2), AMIRI GHANATSAMAN A.(3), SORIA R. (1), LUCAS-BORJA M.E.(1).

1. Universidad de Castilla La Mancha, España.
2. Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Italia.
3. Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

Resumen

La escorrentía superficial y la erosión del suelo son problemas graves que afectan a los ecosistemas mediterráneos, especialmente tras incendios forestales o en áreas de suelos desnudos. Este estudio realiza un análisis detallado de los procesos hidrológicos y evalúa la efectividad de diversas técnicas de manejo para reducir su impacto. A través de un análisis basado en estudios de diferentes regiones mediterráneas, se analizaron las tasas de escorrentía y erosión en zonas quemadas y no quemadas.

Los incendios incrementan significativamente la escorrentía y la pérdida de suelo, con valores hasta 30 veces superiores en comparación con áreas no quemadas. Sin embargo, las áreas con suelos desnudos también registran altas tasas de erosión durante lluvias intensas. Entre las técnicas evaluadas, el mulching con paja de trigo demostró ser efectivo, reduciendo la erosión hasta en un 70%, aunque su impacto en el control de la escorrentía fue tan efectivo. El uso de astillas de madera y combinaciones de materiales vegetales también mostró potencial para mitigar la erosión del suelo, aunque su aplicación depende de la disponibilidad de recursos.

Los resultados de este análisis subrayan la importancia de diseñar estrategias de manejo adaptadas a las condiciones específicas de cada sitio y priorizar las áreas más vulnerables. Estas acciones son esenciales para promover la sostenibilidad y la recuperación de los ecosistemas mediterráneos tras incendios forestales.

Palabras clave

Gestión forestal, fajinas, acordonado, mulching, degradación del suelo, incendios forestales.

1. Introducción

Los incendios forestales son una de las principales amenazas para los ecosistemas mediterráneos debido a sus características climáticas y edáficas, que incluyen suelos someros, climas semiáridos y una vegetación adaptada a condiciones extremas como sequías prolongadas y lluvias torrenciales (ALMENDROS Y GONZÁLEZ-VILA, 2014). Estas características no solo hacen frecuentes los



incendios, sino que también intensifican sus efectos en la estructura del paisaje y la funcionalidad del suelo.

Después de un incendio, la pérdida de vegetación y los cambios en las propiedades físico-químicas del suelo aumentan significativamente la escorrentía y la erosión del suelo (SHAKESBY, 2011; MOODY et al., 2013). Estas alteraciones repercuten negativamente en la estabilidad del suelo y en la calidad de las aguas de las cuencas hidrográficas afectadas.

En regiones mediterráneas, los incendios pueden multiplicar hasta por 30 las tasas de erosión en comparación con terrenos no quemados, especialmente cuando la severidad del incendio es alta (LUCAS-BORJA ET AL., 2022). Este incremento se atribuye a la formación de capas hidrofóbicas, la reducción de la infiltración y la pérdida de cohesión en el suelo (BODÍ ET AL., 2012). Además, las lluvias intensas, habituales en estas áreas, agravan la situación al generar flujos superficiales que arrastran grandes cantidades de sedimentos (ALMENDROS Y GONZÁLEZ VILA 2014). Incluso en ausencia de incendios, los suelos desnudos son particularmente susceptibles a la erosión severa durante precipitaciones extremas (BAZZOFFI, 2009).

Para mitigar estos impactos, se han implementado diversas estrategias de manejo post-incendio, como la aplicación de *mulching* con paja de trigo o astillas de madera, así como la construcción de fajinas (PLAZA-ÁLVAREZ ET AL., 2024). Estas técnicas han demostrado reducir significativamente la pérdida de suelo, aunque su eficacia en la gestión de la escorrentía superficial sigue siendo limitada en algunos contextos (GIRONA-GARCÍA ET AL., 2021). Asimismo, la efectividad de estas medidas varía según factores como la intensidad del fuego, las características topográficas y las condiciones climáticas posteriores al incendio (ZEMA y LUCAS-BORJA, 2023). Este hecho subraya la necesidad de contar con intervenciones adaptadas a las características específicas de cada sitio.

Además de su efecto sobre la erosión y la escorrentía, los incendios forestales pueden alterar el ciclo hidrológico local y afectar la capacidad de recuperación de los ecosistemas afectados. La rápida implementación de medidas post-incendio no solo ayuda a minimizar la degradación del suelo, sino que también contribuye a la recuperación de la biodiversidad y la funcionalidad ecológica en áreas afectadas. No obstante, existe una necesidad urgente de investigaciones que evalúen el impacto combinado de estas técnicas, considerando su aplicabilidad en diferentes escalas y contextos regionales.

Este trabajo integra hallazgos de investigaciones realizadas en ecosistemas mediterráneos a lo largo de 10 años, basándose en datos de 11 experimentos diseñados para evaluar los impactos del fuego y las estrategias de manejo post-incendio. Los objetivos incluyen identificar las características de las precipitaciones que desencadenan mayores tasas de escorrentía y erosión y evaluar la eficacia de diversas técnicas de mitigación. Este análisis busca ofrecer recomendaciones prácticas y fundamentadas para optimizar la gestión forestal en paisajes afectados por incendios forestales, promoviendo la restauración ecológica y la sostenibilidad.

2. Objetivos



Este estudio analiza los efectos de los incendios forestales en la escorrentía superficial y la erosión del suelo, evaluando además la eficacia de estrategias de manejo postfuego en ecosistemas mediterráneos. Se busca identificar cómo las características de las precipitaciones, como intensidad y duración, influyen en la escorrentía y la pérdida de suelo en áreas quemadas y evaluar técnicas como el mulching con paja de trigo, astillas de madera y fajinas para mitigar estos impactos.

A partir de los resultados, se pretende ofrecer recomendaciones prácticas para optimizar la gestión forestal y la restauración ecológica, priorizando estrategias sostenibles que restauren la funcionalidad del suelo y mejoren la resiliencia de los ecosistemas mediterráneos frente a futuras perturbaciones.

3. Metodología

Características del área de estudio y sitios experimentales

La investigación tuvo lugar en Castilla-La Mancha, una región del centro de España caracterizada por una amplia variedad de paisajes y actividades agrícolas. El clima predominante es mediterráneo con influencias continentales, (KOTTEK ET AL., 2006). Los veranos se distinguen por ser calurosos y secos, con temperaturas que frecuentemente superan los 35 °C, mientras que los inviernos son fríos, con valores promedio entre 0 °C y 10 °C. Las precipitaciones anuales, que oscilan entre 300 y 500 mm, se concentran principalmente en primavera y otoño, mientras que el verano suele estar marcado por condiciones de sequía.

La vegetación predominante incluye matorral mediterráneo, con robles, enebros y pinos en las zonas montañosas, y arbustos bajos y pastizales en las áreas más bajas. Los suelos, mayoritariamente arcillosos y calcáreos, presentan variaciones que van desde zonas fértiles adecuadas para cultivos agrícolas hasta áreas áridas y rocosas menos productivas.

Los experimentos se llevaron a cabo en cuatro sitios representativos: 2 en Liétor (2016 y 2021), Agramón 2020, y Lezuza 2016 (fig. 1). En cada sitio se instalaron dispositivos específicos para medir la escorrentía y los sedimentos generados por lluvias simuladas y naturales, permitiendo evaluar los efectos de incendios de distinta severidad. La clasificación de la severidad se realizó siguiendo el protocolo de PARSON ET AL. (2010), que considera indicadores visuales del suelo y la vegetación afectada.

Diseño experimental

El diseño incluyó parcelas replicadas distribuidas en tres categorías principales:

- Suelos no quemados.
- Suelos quemados sin intervención.
- Suelos quemados tratados con técnicas de manejo postfuego, tales como:



- *Mulching* con paja de trigo.
- *Mulching* con astillas de madera.

Las mediciones se realizaron bajo dos escenarios distintos:

1. **Lluvias simuladas:** Se emplearon simuladores de precipitaciones (Eijelkamp®) para reproducir lluvias intensas (40 mm/h) durante 5 minutos en microparcelas de 0.25 m², ubicadas en Agramón y Liétor. Estas simulaciones proporcionaron datos sobre el volumen de escorrentía y la cantidad de sedimentos transportados.
2. **Lluvias naturales:** En parcelas de mayor tamaño (hasta 20 m²) distribuidas en los cuatro sitios experimentales, se recolectaron datos utilizando sistemas diseñados para capturar agua y sedimentos. Las precipitaciones se registraron con estaciones meteorológicas cercanas en intervalos de 5 minutos, permitiendo relacionar los eventos de lluvia con la respuesta del suelo.

Las parcelas se definieron utilizando bordes de geotextil enterrados para evitar flujos no controlados, y los sedimentos recolectados fueron secados y pesados para determinar la pérdida de suelo. Este enfoque permitió identificar patrones generales y variaciones en la respuesta de la escorrentía y la erosión según las condiciones del suelo, la severidad del incendio y las características de las precipitaciones. Se realizaron análisis estadísticos, incluyendo ANOVA y pruebas post-hoc de Tukey, para detectar diferencias significativas entre las categorías de suelo. Este análisis no solo facilitó la integración de datos heterogéneos, sino que también permitió desarrollar una comprensión detallada de los procesos de escorrentía y erosión postfuego. Esto proporciona una base sólida para diseñar estrategias de manejo adaptadas a las características únicas de los ecosistemas mediterráneos, optimizando la restauración y la resiliencia en paisajes afectados por incendios forestales.

4. Resultados

El análisis de los datos recopilados en este estudio, basado en 10 años de observaciones en ecosistemas forestales mediterráneos semiáridos de Castilla-La Mancha, España, permitió obtener resultados clave relacionados con la escorrentía superficial, la pérdida de suelo y la efectividad de las técnicas de manejo postfuego. A continuación, se describen los principales hallazgos:

Efectos de los incendios sobre la escorrentía y la erosión

Los incendios forestales incrementaron significativamente la escorrentía superficial y la pérdida de suelo en comparación con las áreas no quemadas. Tras incendios de alta severidad, la pérdida de suelo fue entre 5 y 30 veces mayor que en condiciones no quemadas, dependiendo de la intensidad de las precipitaciones. La capacidad de generación de escorrentía en los suelos quemados fue mayor tras precipitaciones de intensidad moderada, con una respuesta promedio de hasta 0,69 mm/mm, más del doble que en los suelos no quemados (0,28 mm/mm) (fig. 2).



La erosión en suelos quemados estuvo significativamente influenciada por la intensidad de las lluvias, destacándose un aumento notable incluso en eventos de baja intensidad, mientras que en suelos no quemados la erosión máxima ocurrió durante lluvias de moderada a alta intensidad (fig.3).

Umbrales de lluvia y severidad del incendio

Los incendios de baja severidad generaron impactos limitados en la escorrentía y la erosión, con incrementos significativos solo durante lluvias de alta intensidad (>15 mm/h). En los incendios de alta severidad, incluso precipitaciones de baja intensidad (<10 mm/h) fueron suficientes para desencadenar aumentos significativos en la erosión del suelo, alcanzando valores máximos de 32,1 toneladas/ha por mm/h de intensidad de lluvia.

Efectividad de las técnicas de manejo postfuego

La aplicación de técnicas de *mulching* con paja de trigo y astillas de madera redujo significativamente la pérdida de suelo en comparación con áreas quemadas no tratadas (fig. 4). En particular, el *mulching* con paja de trigo combinado con corta manual mostró una reducción promedio de hasta el 70% en la erosión del suelo. Sin embargo, ninguna de las técnicas evaluadas fue completamente efectiva para disminuir la escorrentía superficial. Algunas medidas, como el *mulching* con astillas de madera, lograron reducciones moderadas, pero otras, como el *mulching* con paja, incluso incrementaron ligeramente la escorrentía en ciertos casos (fig. 5).

Variabilidad entre sitios y escalas

Se observó una alta variabilidad en las respuestas hidrológicas entre los diferentes sitios experimentales y las escalas de medición. Por ejemplo, las parcelas pequeñas tendieron a sobreestimar la erosión por salpicadura, mientras que las parcelas más grandes presentaron subestimaciones debido a la sedimentación interna. Este análisis confirmó que los incendios de alta severidad tienen impactos hidrológicos mucho más marcados que los de baja severidad, y que los tratamientos postfuego pueden mitigar significativamente la pérdida de suelo, pero tienen una eficacia limitada para controlar la escorrentía.

Estos resultados destacan la necesidad de implementar estrategias de manejo postfuego adaptadas al contexto local, priorizando técnicas que reduzcan la erosión del suelo y promoviendo un monitoreo continuo para optimizar la gestión de ecosistemas afectados por incendios.

5. Discusión

Los resultados de este estudio confirman que los incendios forestales tienen un



impacto severo en los procesos hidrológicos de los ecosistemas mediterráneos semiáridos, incrementando significativamente la escorrentía superficial y la pérdida de suelo. Estas alteraciones dependen de la severidad del incendio y de las características de las precipitaciones, y pueden ser mitigadas, aunque no completamente eliminadas, mediante técnicas de manejo postfuego.

Impacto de los incendios forestales

Los incendios de alta severidad provocaron incrementos de hasta 30 veces en la pérdida de suelo en comparación con áreas no quemadas, incluso durante lluvias de baja intensidad (<10 mm/h). Este hallazgo coincide con investigaciones previas que indican que la pérdida de cobertura vegetal y la formación de cenizas hidrofóbicas tras un incendio aumentan significativamente la erodibilidad del suelo (MOODY ET AL., 2013; SHAKESBY, 2011). Además, los incendios de baja severidad, aunque generan impactos menores, pueden desencadenar erosión significativa durante precipitaciones de alta intensidad (>15 mm/h), como lo demostraron otros estudios en ambientes similares (LUCAS-BORJA ET AL., 2022b).

La mayor susceptibilidad de los suelos quemados a la escorrentía y la erosión tras lluvias moderadas se debe, en parte, a la alteración de las propiedades físicas del suelo, como la reducción de la porosidad y la capacidad de infiltración (ALCAÑIZ ET AL., 2018). Esto subraya la necesidad de intervenciones inmediatas tras incendios de alta severidad para minimizar el riesgo de degradación.

Efectividad de las técnicas de manejo postfuego

Las técnicas de manejo postfuego, como el *mulching* con paja de trigo y astillas de madera, mostraron ser eficaces para reducir la pérdida de suelo, con reducciones de hasta el 70% en áreas tratadas con paja de trigo combinada con corta manual. Estos resultados coinciden con investigaciones previas que destacan la capacidad del *mulching* para estabilizar la superficie del suelo y reducir la erosión por salpicadura (CARRÁ ET AL., 2022; GIRONA-GARCÍA ET AL., 2021).

Sin embargo, las mismas técnicas mostraron una eficacia limitada para reducir la escorrentía superficial, lo cual podría atribuirse a la incapacidad del *mulching* para interceptar y retener eficientemente el agua de lluvia (LUCAS-BORJA ET AL., 2019a). En particular, el *mulching* con astillas de madera fue moderadamente efectivo para controlar la escorrentía, mientras que el uso de paja de trigo incluso aumentó ligeramente el volumen de agua escurrida en algunos casos. Esto puede deberse a la composición ligera de la paja, que facilita su desplazamiento por el flujo de agua, reduciendo su efectividad (Navidi et al., 2023). Una de las técnicas más efectivas para mitigar la erosión fue el *mulching* con una combinación de *Loranthus europaeus*, paja de trigo y partículas de arcilla. Sin embargo, la disponibilidad limitada de *Loranthus europaeus* en la región restringe su aplicabilidad práctica.

Variabilidad espacial y temporal

Los datos obtenidos revelan una alta variabilidad en las respuestas hidrológicas



entre los diferentes sitios y escalas de medición. Por ejemplo, las parcelas pequeñas tendieron a sobreestimar la erosión por salpicadura, mientras que las parcelas más grandes subestimaron la pérdida de suelo debido a procesos internos de sedimentación. Este fenómeno ha sido reportado previamente en estudios que emplean diferentes escalas de medición (MOODY ET AL., 2013; ZEMA Y LUCAS-BORJA, 2023).

Implicaciones para la gestión forestal

Este estudio refuerza la importancia de implementar medidas de manejo postfuego en áreas afectadas por incendios de alta severidad, priorizando técnicas como el mulching con paja de trigo y corta manual, que son prácticas y eficaces para reducir la erosión del suelo. Además, resalta la necesidad de desarrollar técnicas complementarias que mejoren el control de la escorrentía superficial.

Finalmente, se subraya la importancia de identificar las áreas más vulnerables a los impactos postfuego y priorizar las intervenciones en función de la severidad del incendio y las características del sitio. Esto no solo optimizará los recursos destinados a la restauración, sino que también minimizará los impactos a largo plazo en la calidad del agua y la productividad del suelo en regiones aguas abajo

6. Conclusiones

En base a los trabajos realizados, se puede concluir lo siguiente:

- Los incendios forestales incrementan significativamente la escorrentía superficial y la pérdida de suelo, especialmente en incendios de alta severidad, donde la erosión puede ser hasta 30 veces mayor que en suelos no quemados.
- Las lluvias de intensidad moderada generan la mayor respuesta hidrológica en suelos quemados, mientras que incluso lluvias de baja intensidad pueden causar erosión significativa tras incendios severos.
- El mulching con paja de trigo, especialmente combinado con corta manual, es una de las técnicas más eficaces para reducir la erosión, con reducciones de hasta el 70%. Sin embargo, su efectividad para disminuir la escorrentía es limitada.
- Es crucial priorizar las intervenciones postfuego en áreas quemadas de alta severidad y desarrollar técnicas complementarias que controlen tanto la erosión como la escorrentía.
- Estos hallazgos refuerzan la necesidad de estrategias de manejo adaptadas al contexto local, basadas en evidencia científica, para mitigar los impactos de los incendios forestales en ecosistemas mediterráneos vulnerables.



7. Agradecimientos

Esta investigación se ha realizado dentro del marco económico aportado por los proyectos: MULTIFIRE: (PID2021-126946OB-100/MCIN/AEI/10.13039/501100011033) y

FIRESTORM: (TED2021-12945B-41/MCIN/AEI/10.13039/501100011033/Unión Europea NextGenerationEU/PRTR)

8. Bibliografía

ALMENDROS, G.; GONZÁLEZ-VILA, F.J.; 2014. Wildfires, soil carbon balance and resilient organic matter in Mediterranean ecosystems. A review . *Span. J. Soil Sci.* 2 153.

BAZZOFFI, P.; 2009. Soil erosion tolerance and water runoff control: minimum environmental standards. *Reg. Environ. Change* 9 169–179.

BODÍ, M.B.; CERDÀ, A.; MATAIX-SOLERA, J.; DOERR, S.H.; 2012. A review of fire effects on vegetation and soil in the Mediterranean Basin. *Bol. Asoc. Geógrafos Esp.*

CARRÀ, B.G.; BOMBINO, G.; LUCAS-BORJA, M.E.; PLAZA-ALVAREZ, P.A.; D'AGOSTINO, D.; ZEMA, D.A.; 2022. Prescribed fire and soil mulching with fern in Mediterranean forests: Effects on surface runoff and erosion. *Ecol. Eng.* 176 106537.

GIRONA-GARCÍA, A.; VIEIRA, D.C.S.; SILVA, J.; FERNÁNDEZ, C.; ROBICHAUD, P.R.; KEIZER, J.J.; 2021. Effectiveness of post-fire soil erosion mitigation treatments: A systematic review and meta-analysis. *Earth-Sci. Rev.* 217 103611.

LUCAS-BORJA, M.E., DE LAS HERAS, J., MOYA NAVARRO, D., GONZÁLEZ-ROMERO, J., PEÑA-MOLINA, E., NAVIDI, M., FAJARDO-CANTOS, Á., MIRALLES MELLADO, I., PLAZA-ALVAREZ, P.A., GIANMARCO CARRÀ, B., WAGENBRENNER, J.W., ZEMA, D.A., 2022a. Short-term effects of prescribed fires with different severity on rainsplash erosion and physico-chemical properties of surface soil in Mediterranean forests. *J. Environ. Manage.* 322 116143.

LUCAS-BORJA, M.E.; GONZÁLEZ-ROMERO, J.; PLAZA-ÁLVAREZ, P.A.; SAGRA, J.; GÓMEZ, M.E.; MOYA, D.; CERDÀ, A.; DE LAS HERAS, J.; 2019a. The impact of straw mulching and salvage logging on post-fire runoff and soil erosion generation under Mediterranean climate conditions. *Sci. Total Environ.* 654 441–451.

LUCAS-BORJA, M.E.; PLAZA-ÁLVAREZ, P.A.; UDDIN, S.M.; PARHIZKAR, M.; ZEMA, D.A.; 2022b. Short-term hydrological response of soil after wildfire in a semi-arid landscape covered by *Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth. *J. Arid Environ.* 198 104702.

MOODY, J.A.; SHAKESBY, R.A.; ROBICHAUD, P.R.; CANNON, S.H.; MARTIN, D.A.; 2013. Current research issues related to post-wildfire runoff and erosion processes. *Earth-Sci. Rev.* 122 10–37.

NAVIDI, M.; SHAFIEI, A.B.; ALIJANPOUR, A.; PIRSA, S.; AHMADY-BIRGANI, H.; LUCAS-BORJA, M.E.; ZEMA, D.A.; 2023. Effects of Post-Fire Mulching with *Loranthus europaeus* Jacq. on Surface Runoff and Rainsplash Erosion in a Semi-Arid Pine Forest. *Resources* 12 31.

PARSON, A.; ROBICHAUD, P.R.; LEWIS, S.A.; NAPPER, C.; CLARK, J.T.; 2010. Field guide for mapping post-fire soil burn severity (No. RMRS-GTR-243). U.S.



Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ft. Collins, CO.

PLAZA-ÁLVAREZ, P.A.; LUCAS-BORJA, M.E.; CARMONA-YÁÑEZ, M.D.; CANDEL-PÉREZ, D.; ZEMA, D.A.; 2024. Mid-Term Effects of Postfire Mulching With Straw or Wood Chips on Soil Erosion in Semi-Arid Forests. *Land Degrad. Dev.*

SHAKESBY, R.A.; 2011. Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: review and future research directions. *Earth-Sci. Rev.* 105 71–100.

ZEMA, D.A.; LUCAS-BORJA, M.E.; 2023. Effects of prescribed fire on the post-fire hydrological processes in agro-forest ecosystems: A systematic review and a meta-analysis. *Hydrol. Process.* 37 e14957.

Figuras:

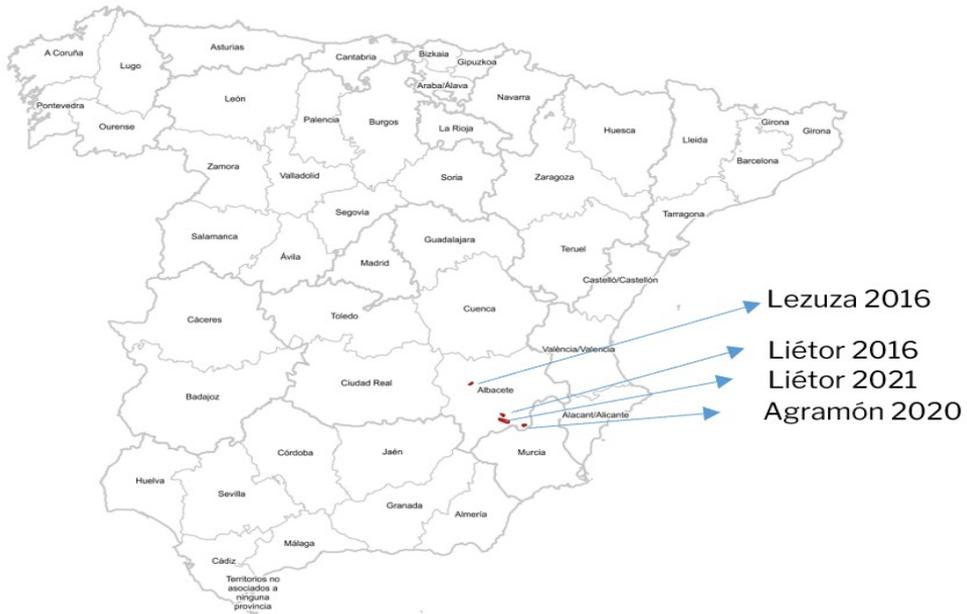


Figura 1. Ubicación de las zonas de estudio

Medias y 95,0% de Fisher LSD

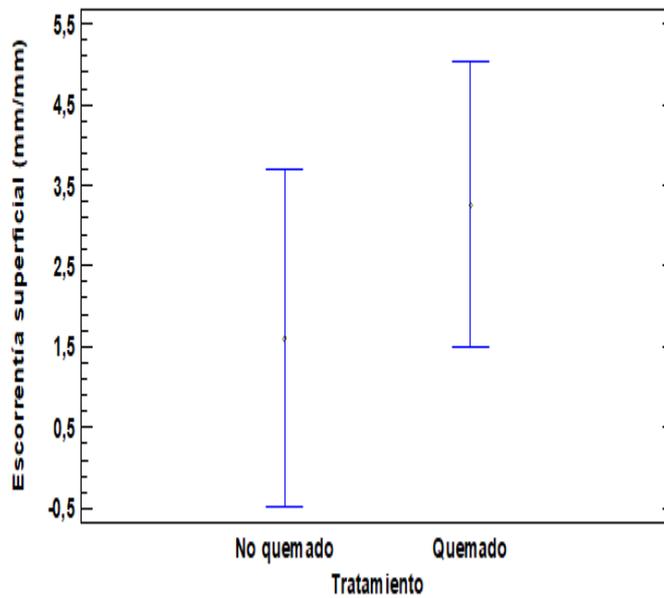


Figura 2. Escorrentía superficial por unidad de lluvia caída en mm

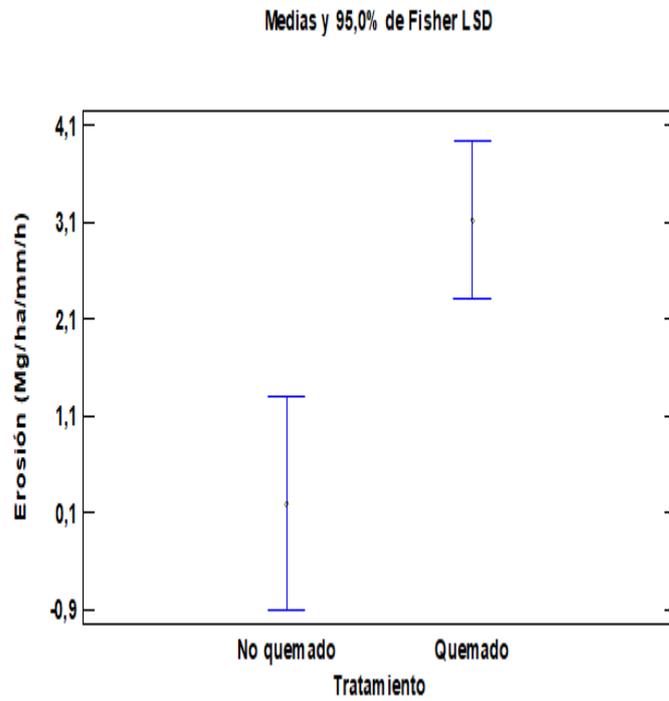


Figura 3. Erosión (Mg/ha) por unidad de intensidad de lluvia(mm/h)

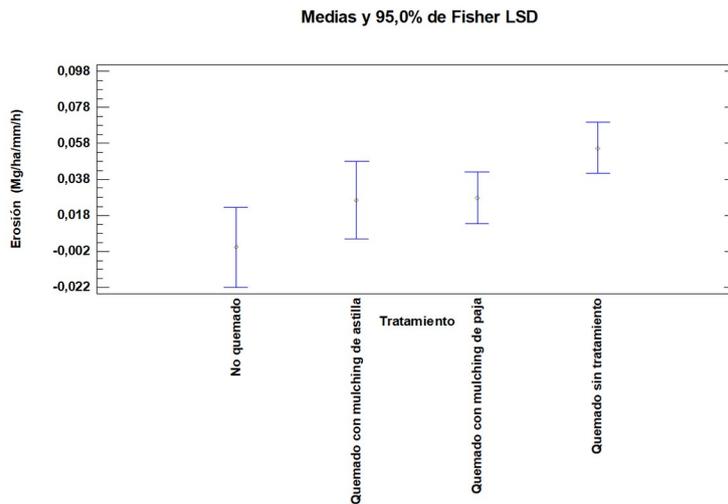


Figura 4. Erosión (Mg/ha) por unidad de intensidad de lluvia(mm/h) para cada tratamiento de restauración

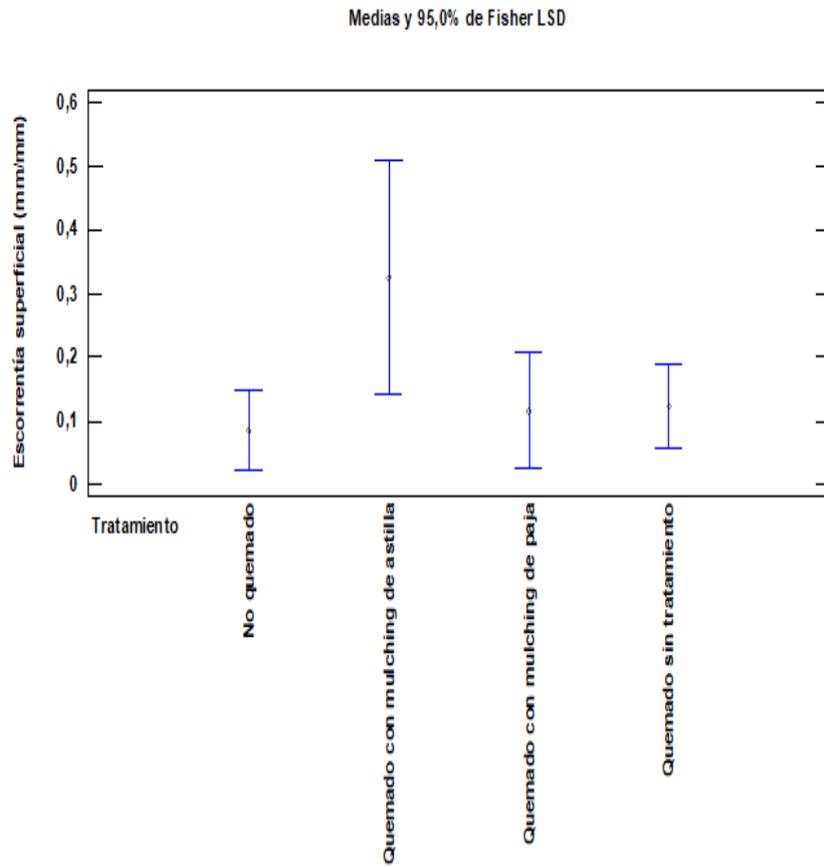


Figura 5. Escorrentía superficial por unidad de lluvia caída en mm para cada tratamiento de restauración