

Evaluación del uso de la glomalina como indicador del impacto del fuego y el manejo post-incendio

Trabajo Final de Grado: M^a Teresa Sansano Anaya.

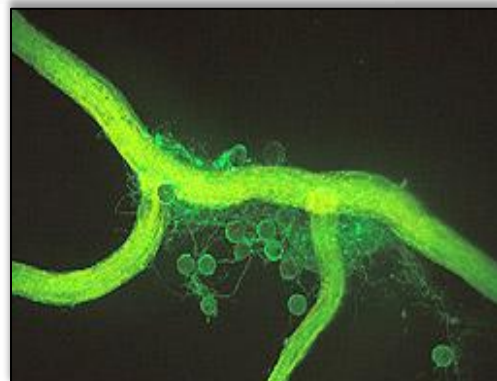
Tutoras: Victoria Arcenegui Baldo y Elena Lozano Guardiola.

Departamento: Agroquímica y Medio Ambiente.

Área: Edafología y Química Agrícola. Facultad: Ciencias Experimentales.

Titulación: Ciencias Ambientales

Curso académico 2015/2016



Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mi familia el apoyo y el ánimo que me han dado desde el primer momento para estudiar una carrera pasados los 30. A mis padres por su paciencia en época de exámenes (y otros tantos momentos de estrés), a mis hermanos, especialmente a mi hermana, que sabe casi tanto de glomalina como yo. Por estar ahí siempre que la necesito.

Especial agradecimiento a mis tutoras, Vicky Arcenegui y Elena Lozano, por su paciencia y constancia conmigo. Gracias a sus conocimientos del "mundo de la estadística", que muy a mi pesar está presente en todos los estudios habidos y por haber. Que sería de los trabajos finales sin la corrección de los tutores...no lo puedo ni imaginar...gracias por vuestra infinita paciencia, sobre todo Elena, gracias por tu tiempo.

A Jorge Mataix-Solera, porque sin los estudios previos sobre los efectos de la saca de madera en Mariola, mi TFG no existiría, gracias por toda la documentación, tanto gráfica como de estudios previos sobre los suelos y el impacto del fuego, ("estás presente", et al., 2015).

A todo el departamento de Agroquímica y Medio Ambiente, por lo que me han ayudado en mis "maratones" de 12h en el laboratorio para poder hacer los análisis en el menor tiempo posible y combinar el TFG con la ORI. Gracias a los compañeros con los que he coincidido en esas horas y que han hecho más ameno y fácil la extracción de la glomalina.

Y para finalizar, gracias a mis compañeros/as y mis amigos/as de la promoción de Grado de CCAA, 2010-2014, por seguir ahí, por seguir apoyándome y dándome ánimos hasta el final de la carrera, porque todos tienen algo especial y en conjunto fuimos una clase genial. Una mención especial a Daniel Pérez, que tiene todos los conocimientos de informática y toda la paciencia que a mí me faltan y que me ha ayudado en estos 5 años.

Gracias a Juana M^a Botía, por ser una gran Vicedecana y estar por y para Ambientales "for ever and ever". No quiero ponerme a nombrar a todos los profesores con los que he aprendido mucho, con los que me llevo genial y con los que espero seguir en contacto. Finalmente, gracias a Pedro Robles, que al final consiguió que me gustara y entendiera la Genética.

RESUMEN

La glomalina es una glicoproteína indicadora de la calidad del suelo y sensible a las perturbaciones. La glicoproteína es producida por las paredes de las hifas de los hongos micorrícicos arbusculares (HMA). Una vez extraída del suelo se la conoce como: "glomalin related soil protein" (GRSP). En este trabajo estudiamos la evolución de GRSP tras un incendio forestal y un manejo de saca de madera quemada. Los resultados muestran que la extracción de madera después del incendio afectó de forma negativa a los stocks de glomalina en el suelo durante el periodo de estudio. Además el efecto de la saca de madera, influyó a otros parámetros del suelo (MO, N, REB, EA), observándose también correlaciones entre GRSP y dichos parámetros. Concluimos que la extracción de madera quemada tras el incendio produce un efecto negativo en la recuperación del ecosistema.

Palabras clave: Glomalina, incendio forestal, GRSP, HMA, MO.

ABSTRACT

Glomalin glycoprotein is used as an indicator of soil quality and it is sensitive to disturbance. This glycoprotein is produced by the walls of the hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). Operationally is known as "soil glomalin related protein" (GRSP). We study the evolution of GRSP after a forest fire and after a management of burned wood extraction. The results show that logging after fire affected negatively glomalin stocks on the floor during the study period. Furthermore, the effect of burned wood extraction influenced other soil parameters (SOM, N, REB, AE), also observed correlations between these parameters and GRSP. We conclude that the extraction of burned wood after the fire produced a negative effect on ecosystem recovery.

Keywords: Glomalin, forest fire, GRSP, AMF, SOM.

ÍNDICE

1.-Introducción.....	6
2.-Antecedentes y Objetivos.....	11
3.-Materiales y métodos	13
3.1. Zona de estudio	13
3.2. Diseño experimental.....	17
3.3. Análisis de laboratorio	19
3.4. Análisis estadísticos	20
4.-Resultados.....	20
5.-Discusión.....	26
6.-Conclusiones y proyección futura	28
7.-Bibliografía.....	29

Glosario:

Calidad del suelo: es la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o tratado para sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire, y sustentar la salud humana y su morada.

Cárcava: es una zanja producto de la erosión que generalmente sigue la pendiente máxima del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias. El agua que corre por una cárcava arrastra gran cantidad de partículas del suelo.



Figura 1. Cárcava en Xerorthent típico, zona de saca de madera. Fuente: Jorge Mataix-Solera (<http://www.jorgemataix.com/>)

Hongos micorrícicos arbusculares (HMA), o Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF): son simbioses asociados con la mayoría de las plantas terrestres, los cuales tienen un rol importante en la agregación del suelo. Sin embargo, existe un debate con respecto a la magnitud en la que los agregados del suelo dependen primariamente del enrejado de partículas por las hifas de estos hongos o la exudación de sustratos orgánicos como la glomalina. Estos hongos están presentes en el 80% de la plantas del planeta.

Glomalina (GRSP): “glomalin related soil protein” proteína glomalina relacionada con el suelo. Definición: es una glicoproteína producida por los hongos micorrícicos arbusculares, hongos que forman asociaciones simbióticas con las plantas vasculares terrestres. La glomalina se encuentra en las paredes de las hifas y de las esporas de los hongos, apareciendo en el suelo tras la muerte y descomposición de las mismas. Una vez en el suelo se adhiere con otras partículas (arena, cieno, arcilla, materia orgánica...), empezando así la formación de agregados.

Intensidad del Incendio depende de varios factores como son: el tiempo atmosférico (la velocidad del viento, la dirección, la humedad relativa y la temperatura), la topografía (pendiente, orientación, altitud y relieve) y el tipo de combustible de la zona (cantidad, humedad-tiempo de retardo, distribución y compactación de la materia), modo de propagación (superficie, copas, subsuelo), etc.

Materia Orgánica (MO) o Soil Organic Matter (SOM). Definición: La materia orgánica de los suelos es el producto de la descomposición química de las excreciones de animales y microorganismos, de residuos de plantas o de la degradación de cualquiera de ellos tras su muerte.

Parámetros edafológicos: humedad, atmosfera del suelo, temperatura, textura, estructura, pH, microbiología, etc...

1. Introducción

El estudio de la incidencia del fuego en nuestros ecosistemas desde diversos puntos de vista, y la propuesta de herramientas de gestión pre y post-incendio, poseen un alto grado de interés y utilidad (Mataix-Solera et al., 2011).

En las últimas décadas los usos del suelo han cambiado de manera drástica en el territorio español, causando un cambio en los regímenes de incendio a los que históricamente venían acostumbrándose tanto los ecosistemas como la sociedad durante miles de años. El abandono del campo (Naredo, 2004) y la modificación consecuente en la incidencia del fuego en nuestros paisajes causan serios problemas socioeconómicos y ambientales que suponen un serio reto tanto para la comunidad científica como para los gestores del territorio.

Los suelos son los gestores de los recursos hídricos y de la composición de las aguas al filtrar las lluvias y administrar los caminos y caudales de las aguas. Los suelos manejan la localización y movilización de los nutrientes, y con ello determinan la cubierta vegetal y la fauna. Por tanto, los suelos son clave para entender los ciclos biogeoquímicos del planeta. Cuando los suelos sufren un incendio, el equilibrio conseguido durante años en los ciclos biogeoquímicos se rompe y los ecosistemas entran en una fase de cambio (Cerdà y Mataix-Solera, 2009).

Los incendios forestales forman parte de la dinámica natural de los ecosistemas terrestres (Le Houerou, 1973; Naveh, 1975), como así lo demuestra el registro fósil y sedimentario y el gran número de adaptaciones a este fenómeno presentes en numerosas especies.

Los ecosistemas mediterráneos han estado y están especialmente influenciados por este fenómeno, hasta el punto que buena parte de la dinámica ecológica y la configuración del paisaje dependen de los incendios

(Naveh, 1974; 1975). Dichos ecosistemas han sido influenciados por el ser humano durante miles de años, modificando el territorio para su uso y aprovechamiento (McNeill, 1992), de tal modo que es imposible afirmar que en nuestro territorio no quedan ecosistemas que no hayan estado o estén de una manera u otra influenciados por el hombre. Éste ha venido utilizando el fuego como herramienta de gestión del territorio desde tiempos prehistóricos, fragmentando el paisaje (Wrangham et al., 1999), causando una heterogeneidad espacial en los ecosistemas entre cuyos impactos se encuentra una influencia determinante en el régimen natural de los incendios forestales (Prosser, 1990).

La influencia del fuego en los ecosistemas terrestres se produce a corto plazo por la eliminación y alteración de la cubierta vegetal. Pero a largo plazo son los suelos quienes van a transferir el impacto del fuego a los ecosistemas. El fuego modifica la formación de los suelos al cambiar el ciclo de los nutrientes (Raison et al., 2009), sus propiedades físicas y químicas (Úbeda y Outeiro, 2009) y los procesos microbiológicos (Mataix-Solera et al., 2009). Estas alteraciones se traducirán en cambios en la química atmosférica al alterar el intercambio gaseoso, alteraciones en la calidad y cantidad de las aguas que fluyen a través de los suelos y con ello en los procesos y formas terrestres que nos atañen.

Estudiar los incendios forestales es prioritario para informar sobre los efectos ambientales en los suelos, ya que la aceleración de los ciclos naturales se inicia en el suelo (emisión de CO₂, aceleración de la erosión, cambio en la composición química del agua, etc). Además, el suelo va a ser decisivo para entender la evolución post-incendio, y la recuperación del ecosistema (Mataix-Solera y Cerdà, 2009).

La actividad biológica del suelo merece una especial atención por su relevancia en la dinámica de los ecosistemas, contribuyendo a la salud del suelo y al crecimiento de las plantas (Bertiller et al., 2009). La comunidad microbiana juega un papel esencial en el proceso de transformación de la materia orgánica, el ciclo de los elementos y la estabilidad de la estructura

del suelo (Marinari et al., 2000; Masciandaro et al., 1997). La mineralización de la materia orgánica lleva asociada una gran comunidad de organismos del suelo que contienen un amplio rango de procesos metabólicos mediante sus actividades enzimáticas y que mejoran la formación de componentes orgánicos estables (Nannipieri et al., 2002). Las actividades enzimáticas pueden ser usadas para describir cambios en las propiedades del suelo debido a su uso, a cambios en la cubierta vegetal y abandono de los cultivos, y por tanto sirven para la interpretación del funcionamiento de los ecosistemas (Acosta-Martínez et al., 2007). La función que juegan los procesos bioquímicos en el suelo es a menudo usada como indicador de la actividad microbiana (García y Hernández, 1997).

Uno de los aspectos investigados en otros estudios y relacionados con el nuestro, es que la asociación de las plantas y los hongos micorrícicos arbusculares (HMA), son una de las simbiosis más importantes en la Tierra, siendo el nexo de unión entre las raíces y el sistema del suelo (Koide y Mosse, 2004). Las plantas son importantes para la formación de agregados, y el papel de los HMA que generan la glomalina es vital para el contenido de nutrientes y las rizodeposiciones en el suelo (Rillig et al., 2002; Rillig 2004b; Rillig y Mummey 2006; Hallett et al., 2009).

La glomalina, es una glicoproteína producida por los HMA (Nichols, 2003; Figura 2 y 3), que se encuentra en las paredes de las hifas y de las esporas de los HMA (Wright y Upadhyaya, 1996; Driver et al., 2005), apareciendo en el suelo tras la muerte y descomposición de las mismas (Treseder y Allen, 2000), una vez en el suelo, se adhiere a otras partículas de éste (arena, limo, arcilla, materia orgánica...), contribuyendo así a la formación de agregados. La acumulación de glomalina en el suelo puede llegar a representar más del 5% del carbono (Rillig et al., 2003b, 2001b) y del nitrógeno del suelo (Lovelock et al., 2004a), de hecho, en los últimos años, la glomalina está siendo muy estudiada debido a su implicación en el secuestro de C y N en el suelo (Treseder y Turner, 2007).

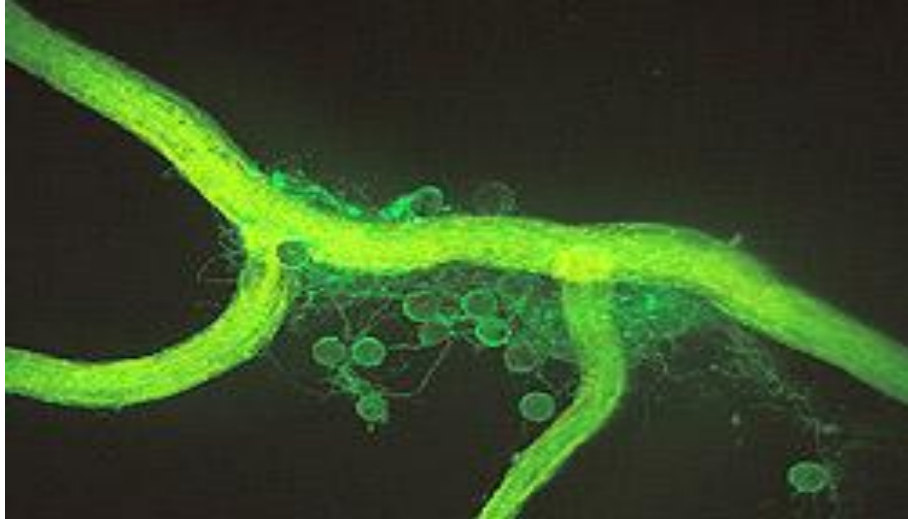


Figura 2. Hongos micorrícicos arbusculares en una raíz. Fuente: United States Department of Agriculture Agricultural Research Service (USDA). Sara Wright.

La glomalina, no solo sirve para cuantificar la cantidad de carbono inmovilizado en el suelo (Rillig et al., 2002-2003b; Nichols y Wright, 2006), sino que también está asociada con la abundancia de agua en los agregados estables (Wright y Upadhyaya, 1996, 1998; Nichols, 2003; Borie et al., 2006; Wright et al., 2007), por lo tanto, dicha sustancia es esencial en la formación y recuperación del suelo.

Los HMA forman una asociación mutualista con el 80% de las familias vegetales (Newman y Reddell, 1987; Trappe, 1987) y son abundantes en la mayoría de los biomas terrestres (Treseder y Cross, 2006). Diversos estudios han comprobado las relaciones entre las comunidades de hongos con la geografía, el medio y los biomas vegetales (Rillig et al., 2003). Los resultados de estos estudios indican que la riqueza de variedades de hongos arbusculares micorrícicos están relacionados con estas variantes, por lo tanto se verían afectados directamente bajo cambios en el suelo (Kivlin et al., 2011).

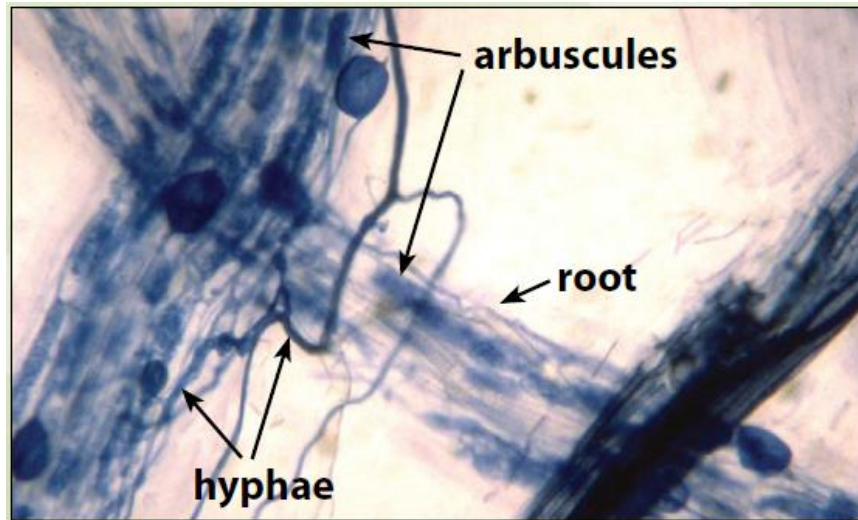


Figura 3. Hongos micorrícicos arbusculares y sus hifas colonizando una raíz. Fuente: <http://soilquality.org.au/>

Los fuegos son comunes en el medio forestal y estos pueden alterar la biota del mismo. Después de un incendio forestal, los microorganismos están influenciados por alteraciones de disponibilidad de nutrientes a largo plazo, por el microclima y la falta de plantas hospedadoras de hongos micorrizales (Treseder et al., 2004), afectando, a las propiedades del suelo, como se han comprobado en muchos estudios precedentes (Neary et al., 1999; Mataix-Solera y Guerrero, 2007; Úbeda y Outeiro, 2009; Mataix-Solera et al., 2011).

Uno de los efectos más visibles tras el paso del fuego, es la desaparición de la cubierta vegetal. Tras un incendio se producen cambios en la densidad y composición vegetal que pueden alterar la abundancia y actividad en las funciones de los hongos micorrícicos que dependen de estas plantas (Treseder, 2004). La recuperación de la misma dependerá del banco de semillas, bulbos y raíces remanentes después del fuego, así como de la severidad del incendio y las condiciones post-incendio.

Al mismo tiempo, se producen cambios químicos y microclimáticos en el suelo que también pueden afectar a la actividad de varias especies o grupos de hongos micorrícicos directamente, causando efectos en la

recuperación de especies de plantas hospedadores de estos y eventualmente en la estructura de las comunidades vegetales. Estos cambios podrían verse reflejados en la evolución de la glomalina. Además, el análisis de la glomalina podría proporcionar información útil acerca de la severidad del fuego y la recuperación post-incendio del suelo (Lozano et al., 2012).

2.-Antecedentes y Objetivos

El presente trabajo constituye una continuación al trabajo de investigación de estudio del incendio de Serelles (Sierra de Mariola), del año 2012.

Contando con la colaboración del Excmo. Ayuntamiento de Alcoy y el equipo de científicos del Departamento de Edafología Ambiental de la Universidad Miguel Hernández, se llevó a cabo un estudio sobre los efectos del fuego tras el incendio forestal, así como un estudio del impacto de las medidas de gestión llevadas a cabo meses después del incendio.

Muchos estudios realizados en España apuntan a que tras un incendio, la recolonización vegetal es rápida. Esta situación ha sido reiteradamente observada por otros autores en distintas zonas de la cuenca mediterránea (Trabaud y Lepart, 1980; Papió y Terradas, 1984; Morey y Trabaud, 1988; Kutiel y Kutiel, 1989; Ferrán et al., 1991; Vallejo y Alloza, 1999). Se ha observado que pocos años después del incendio, la pérdida de suelo y agua es prácticamente nula por el efecto protector de la vegetación (Cerdà, 1998; Llovet et al., 2009), aunque la cubierta vegetal sufre modificaciones importantes. La facilidad de la recuperación de los ecosistemas mediterráneos tras los incendios está claramente determinada por la biología de las especies vegetales. La presencia de rebrotadoras y de germinadoras son un buen ejemplo de la adaptación al fuego (Cucó, 1987; Terradas, 1996; Trabaud, 1998). La estrategia de rebrotar es típica de matorrales mediterráneos, donde se producen incendios recurrentes, como

en la máquia, el chaparral californiano, los eucaliptos australianos o los encinares (Hanes, 1971; Kutiel y Kutiel, 1989; Trabaud y Lepart, 1980; Terradas, 1996), son clave para la restablecer los ecosistemas mediterráneos.

Para poder valorar las diferentes técnicas post-incendio empleadas, se delimitaron parcelas control, donde se dejó que la regeneración fuera natural, sin ninguna intervención y parcelas donde se realizaron las diferentes actuaciones post-incendio (saca de madera). En concreto, la saca de madera es una actuación de gestión forestal que consistió en la extracción de la madera quemada mediante trabajos de corta y retirada de arbolado quemado. En las parcelas delimitadas se realizaron tanto medidas en campo como en laboratorio.

En un estudio previo se analizaron los siguientes parámetros en todas las muestras de suelo tomadas en campo:

- Capacidad de campo (CC)
- Estabilidad de agregados (EA)
- Materia Orgánica (MO)
- Repelencia al agua (Hidrofobicidad)
- Biomasa Microbiana (BM)
- Respiración Edáfica Basal (REB)
- Contenido en Fósforo asimilable (P)
- Contenido en Nitrógeno (N)

En este estudio analizamos el contenido en glomalina del suelo, que es un parámetro sensible a los cambios en el manejo de los suelos agrícolas (Wright y Anderson, 2000) así como a la temperatura y a los efectos provocados por un incendio inmediatamente y a corto plazo (Lozano et al., 2015 a; b).

El objetivo de este estudio es conocer el efecto de la saca de madera post-incendio en la evolución temporal del contenido de glomalina en el suelo.

3.-Materiales y métodos

3.1. Zona de estudio

La zona de estudio, está situada en la zona de Serelles, entre los términos municipales de Alcoy y Cocentaina (Sierra de Mariola), provincia de Alicante, en el sureste español, coordenadas ETRS89 UTM huso 30 (X: 718337.35680; Y: 4290211.80146). Figuras 4 y 5.



Figura 4. Localización de la Sierra de Mariola en la Comunidad Valenciana. Fuente: <http://www.citma.gva.es/>

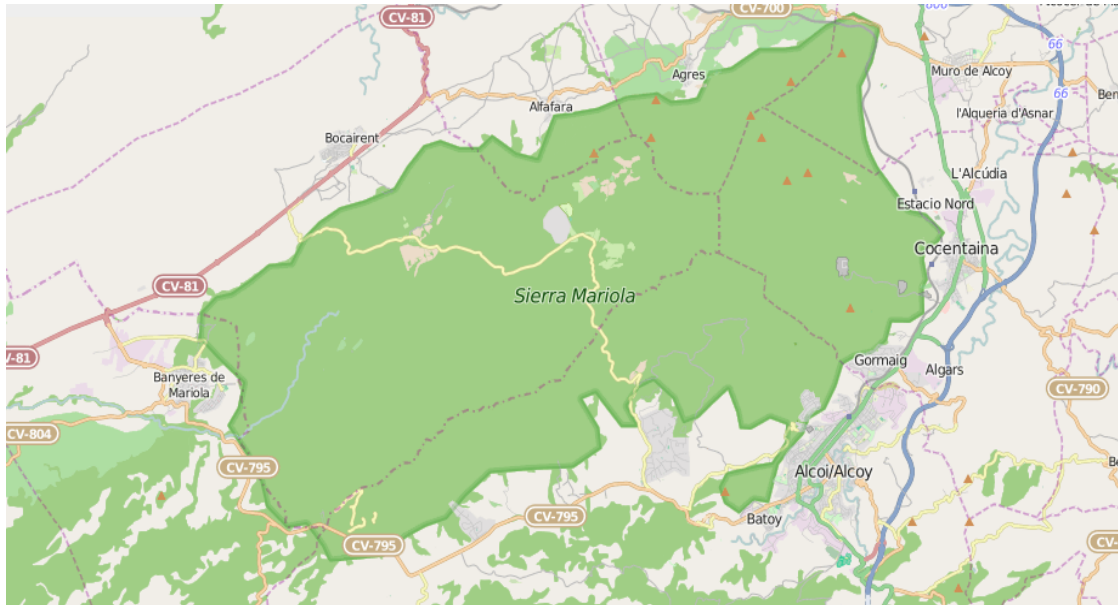


Figura 5. Localización del Parque Natural de la Sierra de Mariola. Fuente: Consellería de Territori i Habitatge de la Comunitat Valenciana. <http://www.citma.gva.es/>.

El macrobioclima es de tipo Mediterráneo con escasas precipitaciones, y de ombrotipo semiárido, con un rango anual aproximado de menos de 500 milímetros. Las lluvias se producen en primavera y otoño, como podemos observar en la Figura 6, y suelen ser de carácter torrencial, produciéndose así un arrastre de materiales no estables.

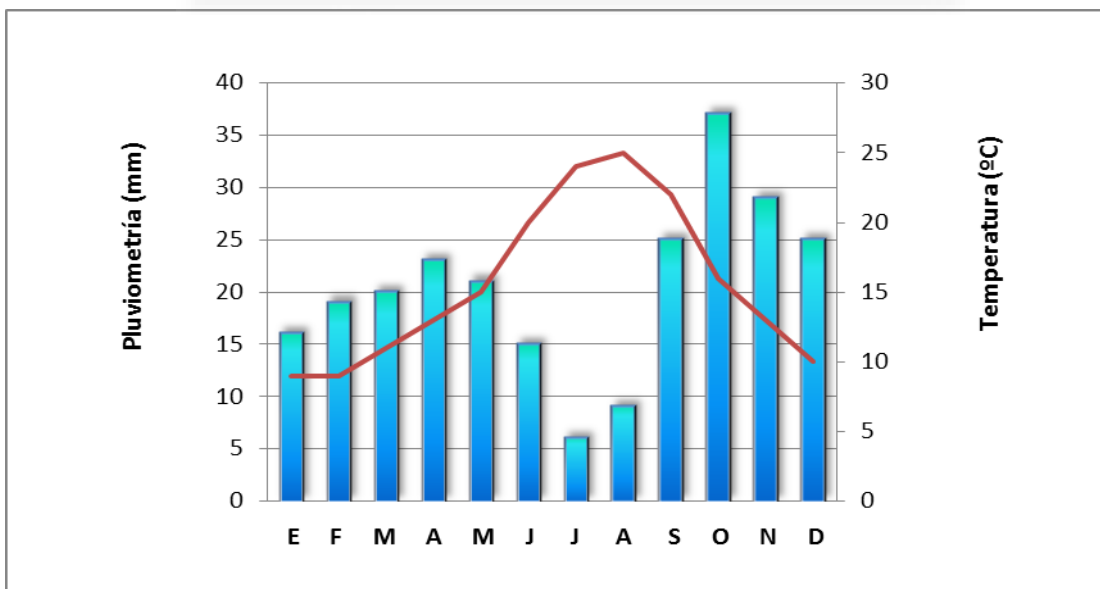


Figura 6. Climograma de Alcoy, 1982-2012. El diagrama de barras pertenece a la precipitación media por meses (mm) y la línea muestra la temperatura media (°C). Piso bioclimático: Termo-mediterráneo semiárido. Fuente: es.climate-data.org

El suelo de la Sierra de Serelles es un Xerorthent típico (Soil Survey Staff, 2014), está desarrollado sobre margas, con escasa profundidad y muy vulnerable a la degradación (Figura 7). En laderas con pendientes más acusadas se producen cárcavas y surcos por elevada erosionabilidad de este material.



Figura 7. El perfil de nuestro suelo en la Sierra de Mariola es el Xerorthent típico que vemos en la foto. Fuente: Jorge Mataix-Solera (<http://www.jorgemataix.com/>)

El incendio forestal se produjo el 12 julio de 2012 y afectó a más de 500 hectáreas (unas 271,27 hectáreas de matorral, 196,98 hectáreas de arbolado, 56,76 hectáreas de cultivos abandonados y 3,84 hectáreas de terreno no forestal) siendo la zona de matorral y arbolado de alto valor ecológico (Diari Oficial de la Generalitat Valenciana).

Según el estudio botánico realizado por Ana Belén Jara Navarro en su trabajo final de grado: “*Estudio del impacto del fuego y manejo post-incendio en la zona de la Sierra de Mariola*”, se lleva a cabo un seguimiento detallado de las especies vegetales más representativas encontradas en la zona. El *Pinus halepensis* viene siendo la especie arbórea más abundante y el resto son plantas arbustivas y herbáceas, muchas de ellas pirófitas o rebrotadoras, adaptadas al fuego como vemos en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1. Especies vegetales más representativas de la zona de estudio (Sierra de Mariola). Fuente: Ana B. Jara Navarro. TFG: “*Estudio del impacto del fuego y manejo post-incendio en la zona de la Sierra de Mariola*”.

Nombre fitosociológico	Nombre de la especie
Bosque	<i>Pinus halepensis</i>
Matorral	<i>Artemisa alba, Cistus albidus, Coris monspeliensis, Coronilla minima, Daphne gnidium, Dorycnium pentaphyllum, Erica multiflora, Ulex parviflorus, Thymus vulgaris</i>
Pastizal	<i>Brachypodium retusum, Catananche caerulea, Hedysarum confertum, Ononis aragonensis, Piptatherum miliaceum, Rubia peregrina</i>

3.2. Diseño experimental

Se establecieron un total de 6 parcelas de 4m²; tres parcelas **CONTROL (C)** y tres parcelas, donde se extrajo la madera quemada, llamada **SACA** de MADERA (**S**). En cada una de las parcelas se cogieron tres muestras, obteniéndose un total de 18 muestras por muestreo. El número de muestreos durante el periodo de estudio fue de cuatro y se realizaron de la siguiente manera:

El primer muestreo, se llevó a cabo antes de que se procediera a ninguna actuación (saca de madera) y el resto de la recogida de muestras, tras la realización de los trabajos de gestión (extracción de la madera en la zona del incendio forestal). Por lo que se corresponde con una evaluación del cambio temporal a corto plazo en los distintos parámetros analizados durante 15 meses.

En la Figura 8, se detallan las fechas de los muestreos realizados a lo largo del tiempo.



Figura 8. Realización de los muestreos durante el periodo de estudio.

En la figura 9 se muestran las parcelas control a la izquierda (**C**) y las parcelas donde se realizó la saca de madera a la derecha (**S**).

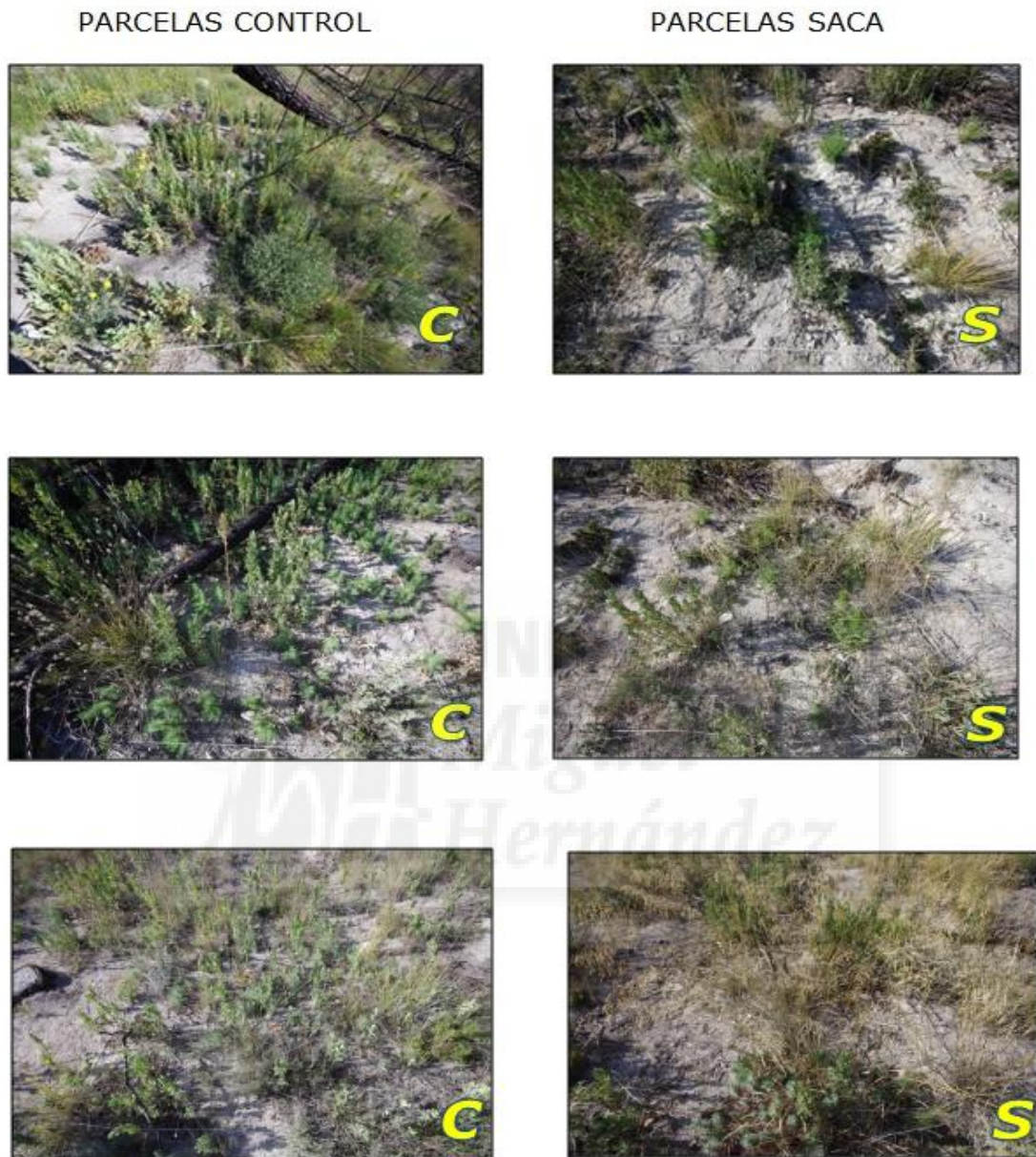


Figura 9. Parcelas sin extracción de madera a la izquierda (control, **C**) y parcelas con extracción de madera a la derecha (saca, **S**). Fotos realizadas el 21/10/2014, un año y 8 meses después de la saca de madera. Fuente: Jorge Mataix-Solera.

3.3. Análisis de laboratorio

Para la extracción de la glomalina en el suelo, utilizamos el método propuesto por Wright y Upadhyaya (1996), en concreto, la fracción de glomalina obtenida fue la "Glomalina fácilmente extraíble de -Bradford", que corresponde a la glomalina más recientemente incorporada al suelo y se extrae con un único ciclo de extracción.

El método de extracción se lleva a cabo mediante autoclave, a una presión de 1,2 atm durante 30 minutos a 121 °C (Wright y Upadhyaya, 1996). Para ello se pesan 0,25 g de suelo (previamente secado al aire y tamizado con una luz de malla de 2 mm) y se le añade 2 mL de una solución de citrato de sodio (20 mM a pH 7). A continuación se centrifuga a 3000 rpm durante 15 minutos para separar las fases sólida y líquida y se extrae 1mL del sobrenadante que se mide por colorimetría mediante el método Bradford (Figura 10). Los resultados se expresan en microgramos de glomalina/gramo de suelo ($\mu\text{g/g}$).



Figura 10. Muestras de extracción de glomalina con Bio-Rad Protein Assay. Fuente propia.

Respecto a las propiedades físicas, se analizó el porcentaje de agregados estables (AE) como un indicador de la estructura del suelo. Para la determinación del porcentaje de AE se usó el método del simulador de lluvia de Roldán et al. (1994) basado en Benito et al. (1986).

Respecto a las propiedades químicas, se analizó la cantidad de materia orgánica (MO) mediante oxidación con dicromato potásico y posterior valoración con sulfato ferroso amónico (Walkley y Black, 1934), y el nitrógeno (N) por el método Kjeldhal (Kjeldhal, 1883). En relación a las propiedades biológicas, la respiración edáfica basal (REB) se monitorizó con un respirómetro multisensor (Micro-Oxymax, Columbus, OH, USA), que mide el CO₂ liberado mediante un sensor infrarrojo.

3.4. Análisis estadísticos

Mediante el test Kolmogorov-Smirnov se verificó el ajuste de los datos a una distribución normal. Para conocer la evolución temporal del contenido de glomalina entre las parcelas control y las de la saca de madera se realizó un test ANOVA, la separación de las medias se realiza mediante el test Post-Hoc de Tukey ($P < 0,05$) asumiendo varianzas iguales. Las relaciones entre el contenido de glomalina y el resto de parámetros se llevaron a cabo mediante correlaciones de Pearson. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SPSS 11.5 (C SPSS Inc., 1989).

4.-Resultados

A continuación se muestran los resultados de la evolución del contenido de glomalina, para las parcelas control y las parcelas donde se realizó la saca de madera post-incendio.

En las parcelas control no se observaron cambios en el tiempo, permaneciendo la glomalina estable a lo largo del estudio. Sin embargo, sí que se encontraron diferencias significativas en las parcelas de la saca, observándose una disminución en el contenido de la glomalina con el

tiempo. A partir del muestreo 3, se observaron diferencias significativas entre las parcelas control y las de la saca (Figura 11).

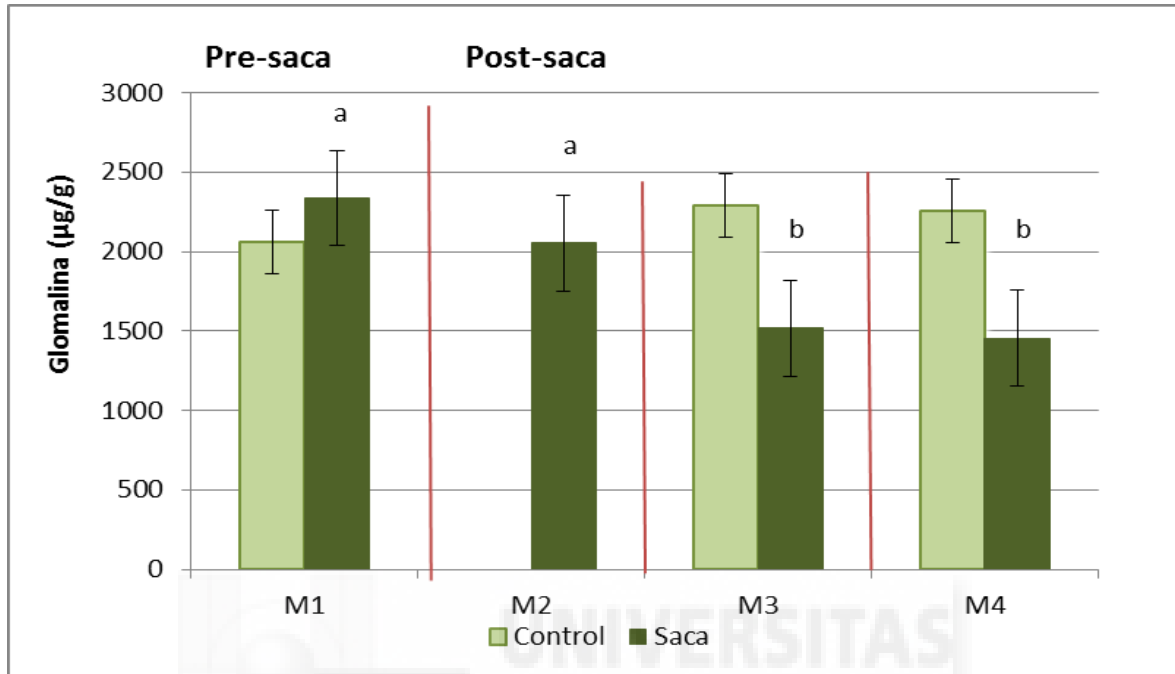


Figura 11. Comparación del contenido en glomalina entre la parcela control (C) y la saca de madera (S) a lo largo del periodo de estudio. Muestras: 1. (01/02/2013), 2. (12/03/2013), 3. (01/09/2013), 4. (16/05/2014). Valores medios y desviación estándar. Las letras (a y b), indican diferencias significativas entre muestreos en la zona de saca de madera.

Al igual que ocurre con la glomalina, se observó que el contenido en MO en la zona control permanece constante durante el periodo de estudio, mientras que en la zona de saca de madera desciende la cantidad hasta alcanzar valores por debajo de la mitad de su valor inicial (Figura 12).

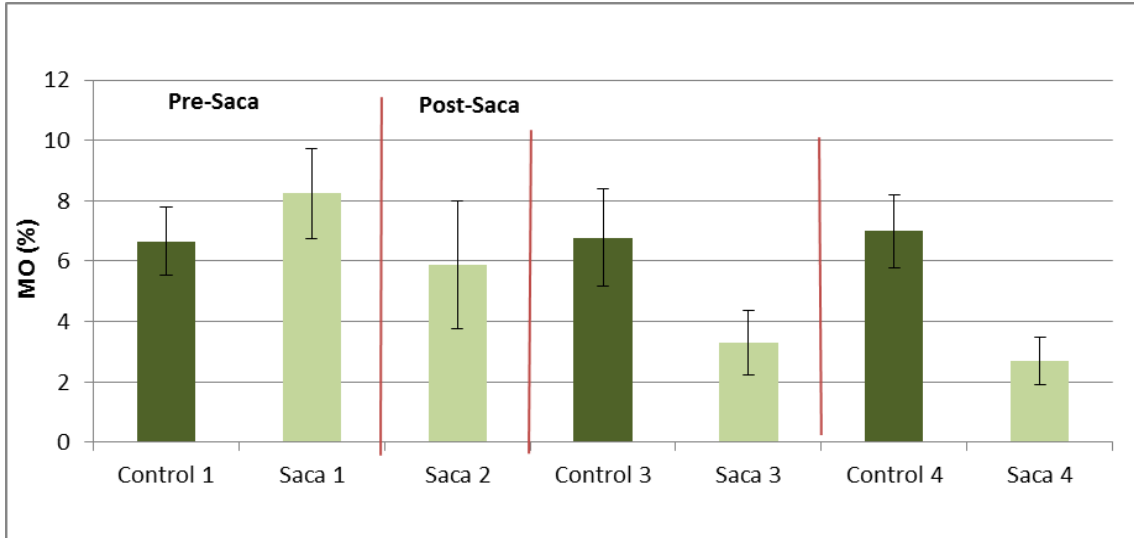


Figura 12. Evolución del contenido de materia orgánica (MO) a lo largo del tiempo, parcelas control y saca de madera. Muestréos: 1. (01/02/2013), 2. (12/03/2013), 3. (01/09/2013), 4. (16/05/2014).

En la Figura 13, se observa una correlación muy significativa entre la materia orgánica (MO) y el contenido en glomalina en la zona de extracción de madera (S).

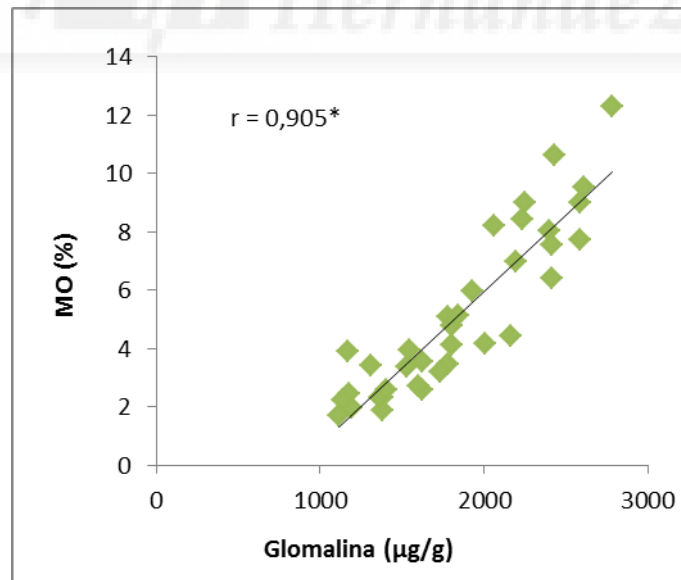


Figura 13. Correlación entre el contenido de materia orgánica (MO) y el contenido de glomalina.

En la evolución del contenido de nitrógeno (N) durante el periodo de estudio (Figura 14), en las parcelas control se observa un aumento (sobre todo en control 3), mientras que en la saca, se observó un descenso de N.

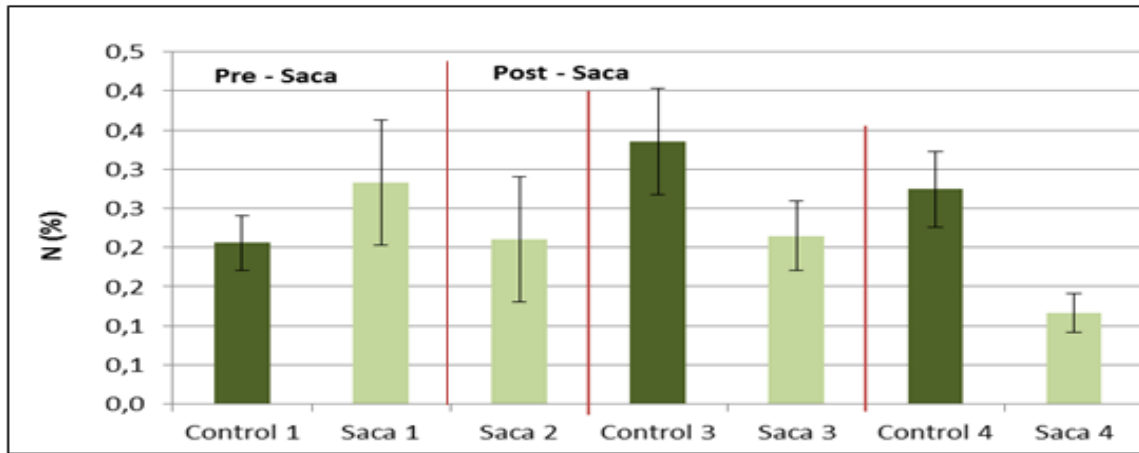


Figura 14. Evolución del contenido de nitrógeno en la zona control y saca de madera quemada. Muestreos: 1. (01/02/2013), 2. (12/03/2013), 3. (01/09/2013), 4. (16/05/2014).

El contenido en nitrógeno (N) del suelo también presenta una correlación positiva con el contenido en glomalina de las parcelas de la saca de madera. (Figura 15)

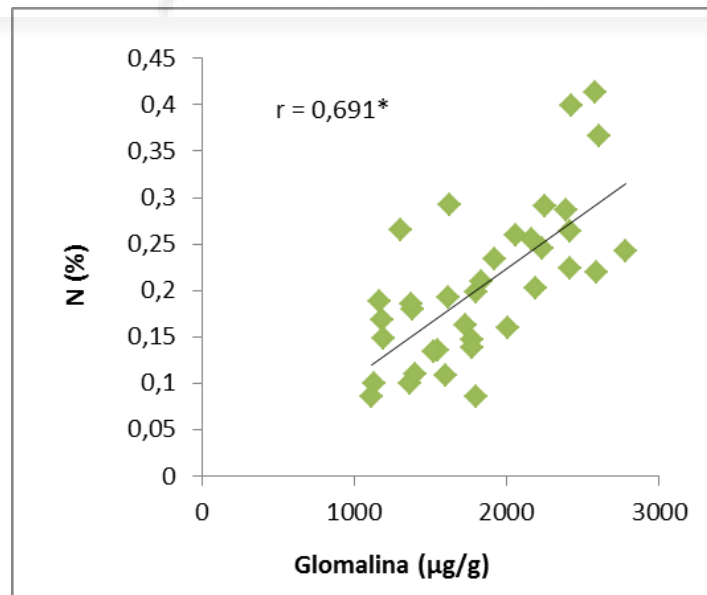


Figura 15. Correlación entre el contenido de nitrógeno y el contenido de glomalina.

La estabilidad de agregados (EA), se observó una disminución del 20% en agregados estables entre las parcelas C y S durante el periodo de estudio (Figura 16).

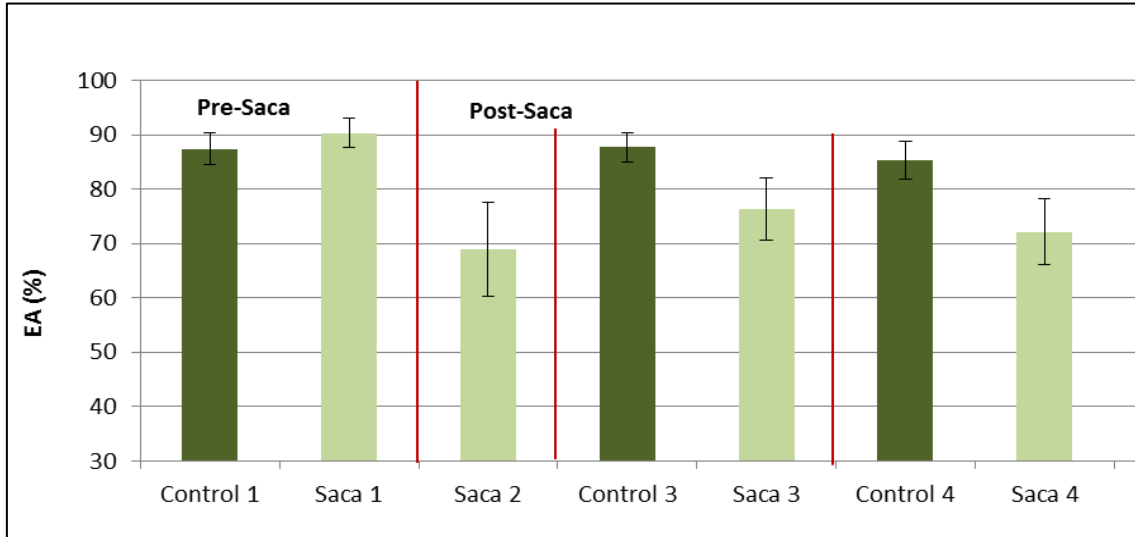


Figura 16. Evolución de la estabilidad de agregados (EA) en la zona control y la zona de extracción de la madera. Muestreos: 1. (01/02/2013), 2. (12/03/2013), 3. (01/09/2013), 4. (16/05/2014).

La relación entre los agregados estables (AE) y el contenido en glomalina no fue significativa, pero muestra una tendencia, como se observa en las parcelas con extracción de madera (Figura 17).

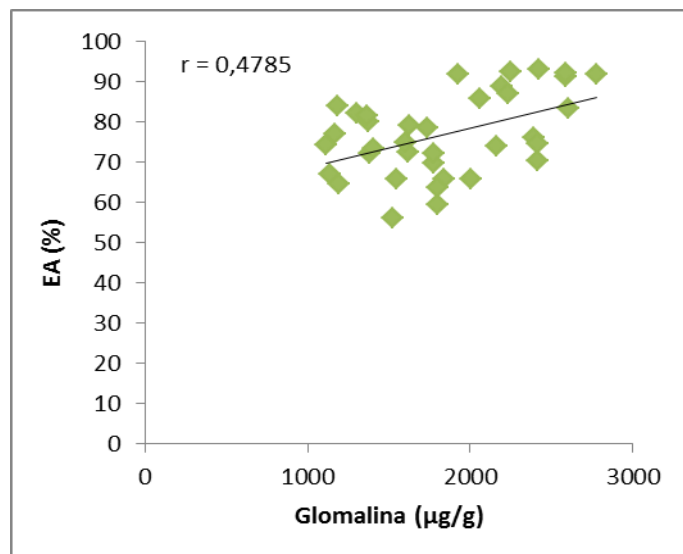


Figura 17. Correlación entre estabilidad de agregados y el contenido de glomalina.

En la figura 18 se observa como hay un incremento de la respiración edáfica basal desde el incendio a lo largo del tiempo en la zona control. En la zona de la saca de madera, los valores también se van recuperando tras la saca, pero nunca llegan a alcanzar los valores de la zona control.

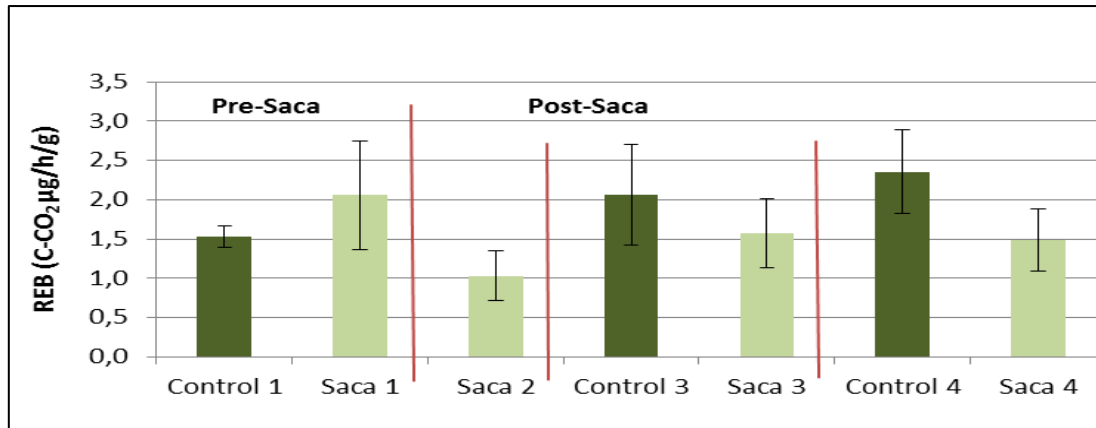


Figura 18. Evolución de la respiración edáfica basal en la zona control y la zona de extracción de la madera. Muestreos: 1. (01/02/2013), 2. (12/03/2013), 3. (01/09/2013), 4. (16/05/2014).

Tras la extracción de madera (saca), la actividad microbiológica observada es menor. La correlación entre el contenido en glomalina y respiración edáfica basal no fue significativa, pero sí que se observa una tendencia entre ambos parámetros (Figura 19).

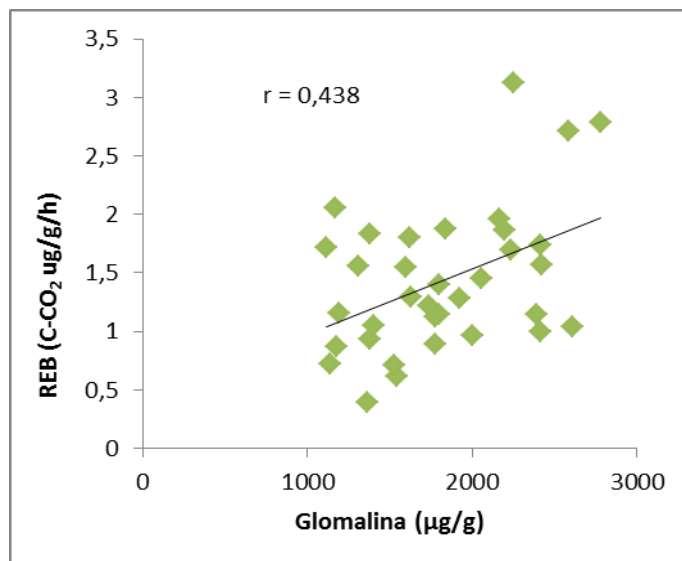


Figura 19. Correlación entre la respiración edáfica basal y el contenido en glomalina.

5. *Discusión*

Los resultados obtenidos en la zona de Serelles, confirman que la actuación forestal de extracción de la madera quemada como tratamiento post-incendio fue negativa para el suelo en general. El uso de maquinaria para el arrastre de troncos y ramas, produjo una degradación y pérdida de la calidad del suelo, que se observa en todas las propiedades estudiadas y en nuestro caso también en la glomalina.

Mientras que en las parcelas control el contenido de glomalina permaneció con niveles estables (con un promedio de 2195 $\mu\text{g/g}$), en la zona de la saca los valores van en descenso (se obtuvo un promedio de 1841 $\mu\text{g/g}$), Figura 11. Estudios anteriores revelan que el contenido de GRSP es muy variable estacionalmente (Lutgen et al., 2003), hecho que contrasta con la estabilidad del contenido de GRSP tras un incendio forestal (Lozano et al., 2015).

En un estudio llevado a cabo con anterioridad donde se analizaron diferentes parámetros (densidad aparente, hidrofobicidad, capacidad de campo, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, biomasa microbiana, respiración edáfica basal y estabilidad de agregados), se observó que la saca de madera quemada tenía un efecto negativo, ya que todos los contenidos de estos parámetros en el suelo descendían progresivamente con el tiempo, llegando a reducirse algunos hasta un 50% con respecto a los valores de la zona control (Mataix-Solera et al., 2015).

La recuperación del medio tras un incendio dependerá de muchos factores: como la intensidad del fuego, las lluvias posteriores y la actuación preventiva después del incendio, (Lozano et al., 2015). El incendio afecta directamente a la vegetación, ligada a la producción de HMA, la madera quemada proporciona MO, las cenizas presentes en el suelo aportan minerales y el banco de semillas hace que la vegetación se recupere mucho más rápido en condiciones normales, como se comprueba en las zonas control durante nuestro estudio.

Se observó una correlación entre la MO y el contenido en glomalina, (Lozano et al., 2013; Rillig et al., 2003) esto se debe a que los niveles de MO también decrecen con extracción de madera, lo que indica que la MO también se ha visto afectada por la saca de madera, (Mataix-Solera et al., 2015), al igual que pasa con el contenido en glomalina del suelo. Sin MO, disminuyen las poblaciones de microorganismos descomponedores y por lo tanto no se produce la REB esperada, como podemos observar en la correlación existente entre la REB y el contenido en glomalina (Figura 19). Los descensos de MO pueden estar provocando una disminución en la recuperación de los descomponedores, (Allison y Treseder, 2011), y como consecuencia, una disminución en la REB.

La molécula glomalina está compuesta por C y N principalmente, siendo así una gran reserva de C y N para el suelo (Rillig et al., 2003b, 2001b), además a través de su relación con los agregados, influyen indirectamente a la reducción de las pérdidas de óxidos de nitrógeno a la atmósfera a través de los ciclos de nitrificación y desnitrificación (Nichols y Wright, 2006). Aparentemente la reducción de emisiones de N_2O puede beneficiar las simbiosis micorrícicas e incrementar la producción de glomalina (Treseder y Turner, 2007), pero en nuestro caso no se cumple, ya que desciende el nivel de N al igual que lo hace la glomalina (Figura 14) debido a que ambos se ven afectados por el incendio y la posterior saca de madera, no dando lugar a su regeneración, limitando así la recuperación del ecosistema.

La glomalina favorece la estructura del suelo a través de la formación de agregados, (Rillig y Upadhyaya, 1996) necesaria para retener el agua, proporcionando una aireación apropiada (Treseder y Turner, 2007).

Recientes estudios confirman que la glomalina, junto con otras características iniciales en el suelo como: la estabilidad de agregados, la textura, el contenido en carbono o los HMA se ven afectadas por el calor (Pattinson et al., 1999). La concentración de glomalina desciende con el incremento de la temperatura, como el producido por un incendio, (Lozano

et al., 2015). Tras este estudio podemos confirmar que el incendio afecta a todos los parámetros estudiados en el suelo con anterioridad, incluyendo la glomalina y que la saca de madera tiene un efecto negativo como medida post-incendio.

6. Conclusiones y proyección futura

En este estudio se demuestra que el contenido de glomalina es sensible a la saca de madera post-incendio. Junto con otros parámetros que indican el estado del suelo, en este estudio se puede confirmar que la saca de madera quemada tiene un efecto negativo y no es recomendable como tratamiento de gestión post-incendio para este tipo de suelo y de la manera y en el momento en el que se realizó.

Durante el periodo de estudio en la zona de Serelles tras la saca de madera se observó una disminución en el contenido de glomalina comparada con las zonas control, donde no se hizo la extracción. Por lo tanto, no es recomendable el uso de maquinaria pesada para la extracción de madera como gestión post-incendio en suelos vulnerables a la degradación como este.

En la zona control los niveles de glomalina han sido constantes durante el periodo de estudio, con lo cual, empleando técnicas no invasivas o incluso no actuando en la zona afectada tras un incendio, el suelo tiene una tendencia a recuperarse naturalmente. Una propuesta para futuros incendios forestales sería, primero evaluar la zona por científicos y personal cualificado en medio ambiente y posteriormente actuar en consecuencia a los resultados obtenidos.

7. Bibliografía

- Alguacil MM, Torrecillas E, García-Orenes F, Roldán A, 2014. *Changes in the composition and diversity of AMF communities mediated by management practices in a Mediterranean soil are related with increases in soil biological activity*. Soil Biology & Biochemistry 76 (2014) 34-44.
- Allison SD, Treseder KK, 2011. Climate change feedback to microbial decomposition in boreal soils. Fungal Ecol 2011. 4:62-374.
- Cerdà A, 1996. *Soil aggregate stability in three Mediterranean environments*. Soil Technology 9 (1996) 133-140.
- Cerdà A, Mataix-Solera J, 2009. *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España*. Càtedra Divulgación de la Ciència. Universitat de València, 2009. LAIMPRESSA CG. ISBN: 978-84-370-7653-9. DL: V-3853-2009.
- Driver J.D, Holben W.E, Rillig C.,2005. *Characterization of glomalina as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi*. Soil Biology & Biochemistry 37 (2005) 101-106.
- Janos David P., Garamszegi S., Beltran B., 2008. *Glomalin extraction and measurement*. Soil Biology & Biochemistry 40 (2008) 728-739.
- Kivlin S. N, Hawkes C.V, Treseder K.K, 2011. *Global diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi*. Soil Biology and Biochemistry 43 (2011) 2294-2303.
- Knorr M.A, Boerner R.E.J, Rillig M.C, 2003. *Glomalin content of forest soils in relation to fire frequency and landscape position*. Mycorrhiza (2003) 13:205-210. DOI 10.1007/s00572-002-0218-1.

- Kumar P, Singh M, Tripathi BN, 2013. *Glomalin: an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein*. Protoplasma (2013) 250:663-669. DOI 10.1007/s00709-012-0453-z.
- Lovelock CE, Wright SF, Nichols KA, 2004a. Using glomaling as an indicator for arbuscular mycorrhizal hyphal growth: an example from a tropical rain forest soil. Soil Biol. Biochem. 2004, 36:1009-1012.
- Lozano E, Jiménez-Pinilla P, Mataix-Solera J, Arcenegui V, Mataix-Beneito J, 2012. *Can glomalin be useful as an indicator of soil health after forest fires?* Grupo de Edafología Ambiental. Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente, UMH.
- Lozano E, Jiménez-Pinilla P, Mataix-Solera J, Arcenegui V, Bárcenas GM, González-Pérez JA, García-Orenes F, M.P. Torres d, J. Mataix-Beneyto J, 2013. *Biological and chemical factors controlling the patchy distribution of soil water repellency among plant species in a Mediterranean semiarid forest*. Geoderma 207–208 (2013) 212–220.
- Lozano E, Chrenkova K, Arcenegui V, Jiménez- Pinilla P, Mataix-Solera J, Mataix-Beneyto J, 2015. *Glomalin-related soil protein response to heating temperatura: a laboratory approach*. Land degradation and development. LDD-15-0155.R1.
- Lozano E, Jiménez- Pinilla P, Mataix-Solera J, Arcenegui V, Mataix-Beneyto J, 2015. *Glomalin-related soil protein as an indicator of soil health and soil recovery after the impact of a forest fire*. Manuscrip Figure Captions. 2015.
- Lutgen E. R, Muir-Clairmont D, Grham J, Rillig M.C, 2003. *Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalina in western Montana grassland*. Plant and Soil 257: 71-83, 2003.

- Mataix-Solera J, Arcenegui V, Cerdà A, García-Orenes F, Moltó J, Chernkovà K, Torres P, Lozano E, Jimenez-Pinilla P, Jara Navarro AB, 2015. *Estudio del impacto del fuego y tratamientos post-incendio. Zona de Serelles (Sierra de Mariola)*. Grupo de Edafología Ambiental. Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente, Universidad Miguel Hernández (UMH). EGU2015-2111-2, 2015.
- Mataix-Solera J, Cerdà A, Arcenegui V, Jordán A, Zavala LM, 2011. *Fire effects on soil aggregation: A review*. *Earth-Science Reviews* 109 (2011) 44–60.
- Mataix-Solera J, Cerdà A, 2009. Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos. En: Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. Editado por: Cerdà A, Mataix-Solera J. Cátedra de Divulgació de la Ciència. Universitat de Valencia; 2009 p. 25-53.
- Mataix-Solera J, Guerrero C, Úbeda X, Outeiro L, Torres M.P, Cerdà A, Bodí M.B, Arcenegui V, Zornoza R, Gómez I, Mataix-Beneyto J, 2007. *Incendios forestales, suelos y erosión hídrica*. Caja Mediterráneo CEMACAM Font Roja-Alcoi © 2007. Jorge Mataix-Solera © 2007. ISBN: 978-84-7599-194-8. A-1095-2007.
- Naredo JM, 2004. La evolución de la agricultura en España (1940-2000). Universidad de Granada, Granada, 549pp.
- Naveh Z, 1975. The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region. *Vegetation*, 29, 199-208.
- Newman EI, Reddell P. 1987. The distribution of mycorrhizas among families of vascular plants. *New Phytol*, 1987.106:745-751.

- Pattinson GS, Hammill KA, Sutton BG, McGee PA, Simulated fire reduces the density of arbuscular mycorrhizal fungi at the soil surface. *Mycoll Res* 1999. 103:491-496.
- Prosser IP, 1990. Fire, humans and denudation at Wangrah Creek, southern Tablelands. *Australian Geographical studies*, 28, 77-95.
- Raison RJ, Khanna PK, Jacobsen KLS, Romanya J, Serrasolses I, 2009. Effect of fire on forest nutrient cycles. En: Cerdà A y Robichaud PR (Eds), *Fire effects on soil and restoration strategies*. Science Publishers, pp. 225-256.
- Rillig MC. 2004. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Can. J. Soil Sci.* 84:355-363.
- Rillig MC, Maestre FT, Lamit LJ, 2003a. Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. *Soil Biol. Biochem.* 35:1257-1260.
- Rillig MC, Ramsey PW, Morris S, Paul EA, 2003b. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. *Plant soil* 253:293-299.
- Rillig MC, Sreinberg PD, 2002. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: A mechanism of habitat modification? *Soil Biol. Biochem.* 34:1371-1374.
- Rillig MC, Treseder KK, Allen MF, 2002a. Global change and mychorrhizal fungi. P.135-160. En: M. Van der Heijden and I. Sanders (ed.) *Mycorrhizal ecology*. Springer Verlag, New York.
- Rilling MC, Wright SE, Eviner VT, 2002b. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: Comparing effects of five plant species. *Plan Soil* 238:325-333.

- Rillig MC, Wright SE, Shaw MR, Field CB, 2002c. Artificial climate warming positively affects arbuscular mycorrhizae but decreases soil aggregate water stability in an annual grassland. *Oikos* 97:52-58.
- Rillig MC, Wright SE, Nichols KA, Schmidt WE, Torn MS, 2001b. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant soil* 233:167-177.
- Roldán A, García-Orenes F, Lax A, 1994. An incubation experiment to determine factors involving aggregation changes in an arid soil receiving urban refuse. *Soil Biol. Biochem.* 1994; 26:1699-1707.
- Schindler FV (a), Mercer EJ (b), Rice JA (b), 2006. *Chemical characteristics of glomalin-related soil protein (GRSP) extracted from soils of varying organic matter content.* *Soil Biology & Biochemistry* 39 (2007) 320-329.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy.* 12th ed. NRCS, Washington, DF.
- Treseder KK, Cross A. 2006. Global distributions of arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecosyst* 2006. 9:305-316.
- Treseder KK, Mack MC, Cross A, 2004. Relationships among fires, fungi, and soil dynamics in Alaskan Boreal Forest. *Ecol. Forests. Ecol Appl* 2004. 14:1826-1838.
- Treseder KK, Turner KM, 2007. Glomalin in ecosystems. *Soil Science Society America Journal* 71:1257:1266.
- Treseder KK, Turner KM, Mack MC, 2007. Mycorrhizal responses to nitrogen fertilization in boreal ecosystems: Potential consequences for soil carbon storage. *Global Change Biol.* 13:78-88.

Úbeda X, Outerio LR, 2009. Physical and Chemical Effects of Fire on Soil. En: Cerdà A y Robichaud PR (Eds), Fire effects on soil and restoration strategies. Science Publishers, pp. 105-132.

Wright SF, Anderson RL, 2000. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotation for the central Great Plains. Biol. Fertil. Soils 31:249-253.

Wright SF, Upadhayaya A, 1996. *Extraction of an abundant but unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi.* Soil Science 161:575-586.

Zornoza R, Guerrero C, Mataix-Solera J, Scow KM, Arcenegui V, Mataix-Beneyto J, 2009. *Changes in soil microbial community structure following the abandonment of agricultural terraces in mountainous areas of Eastern Spain.* Applied Soil Ecology 42 (2009) 315–323.

Información obtenida en webs

- www.magrama.gob.es
- www.ign.es/ign/main/index.do
- <http://terrasit.gva.es/>
- www.jorgemataix.com
- <http://www.ars.usda.gov/is/espanol/pr/2008/080617.es.htm>
- <http://pubs.aic.ca/doi/pdf/10.4141/S04-003?src=recsys>
- <http://www.carbonchar.com/sites/default/files/Nichols.pdf>
- <http://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/1265040/glomalin/brochure.pdf>
- <http://drum.lib.umd.edu/bitstream/1903/86/2/dissertation.pdf>
- <http://www.citma.gva.es/>

➤ <http://www.docv.gva.es/>

