



EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO TRAS EL TRATAMIENTO DE EXTRACCIÓN DE MADERA QUEMADA EN LA SIERRA DE MARIOLA

Eugenio Sánchez Añíbarro

TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



2018

TUTORES: Jorge Mataix-Solera y Victoria Arcenegui Baldó

Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ - FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES



CIENCIAS AMBIENTALES
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

UNIVERSITAS
Miguel Hernández

ÍNDICE



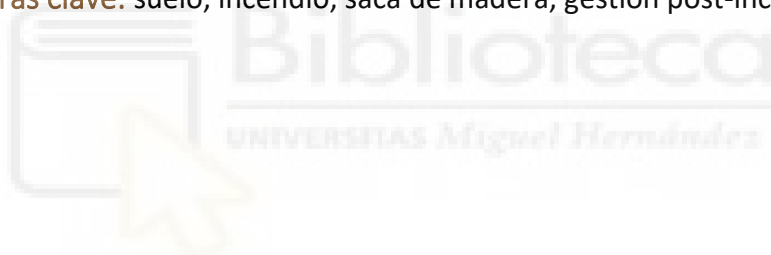
| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 4 |
| 2. ANTECEDENTES | 5 |
| 3. OBJETIVOS | 7 |
| 4. MATERIALES Y MÉTODOS | 7 |
| ❖ 4.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO | 7 |
| ❖ 4.2 TOMA DE MUESTRAS | 9 |
| ❖ 4.3 MÉTODOS DE ANÁLISIS | 10 |
| ❖ 4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 13 |
| 5. RESULTADOS | 13 |
| ❖ 5.1 PROPIEDADES FÍSICAS | 14 |
| ❖ 5.2 PROPIEDADES QUÍMICAS | 15 |
| ❖ 5.3 PROPIEDADES BIOLÓGICAS | 18 |
| 6. DISCUSIÓN | 20 |
| 7. CONCLUSIÓN | 24 |
| 8. PROYECCIÓN FUTURA | 24 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA | 25 |



Resumen:

Estudio realizado para evaluar la evolución temporal del suelo de un bosque mediterráneo en la Sierra de Mariola en Alicante, España, cinco años después de sufrir un incendio y haberse aplicado un tratamiento de extracción de madera quemada. Analizando propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo se observa una clara degradación en la zona de saca de madera, mientras que la zona de control, donde no se extrajo madera, presenta valores estables e incluso de recuperación en algunos parámetros. El tratamiento de saca de madera ha provocado una erosión que ha afectado a la capa más fértil del suelo, reduciendo su materia orgánica y la presencia de microorganismos y nutrientes disponibles para las plantas. Con los resultados obtenidos podemos concluir que el tratamiento de extracción de madera quemada ha supuesto un proceso desfavorable para la recuperación del ecosistema tras sufrir un incendio.

❖ **Palabras clave:** suelo, incendio, saca de madera, gestión post-incendio.



Abstract:

Study carried out to evaluate the temporal evolution of the soil of a Mediterranean forest in Sierra de Mariola at Alicante, Spain, five years after suffering a forest fire and having applied a burnt wood extraction treatment. Analyzing the physical, chemical and biological properties of the soil, a clear degradation is observed in the area of wood extraction, while the control zone, where no wood was extracted, presents stable values and even recovery in some parameters. The treatment of wood extraction has caused an erosion that has affected the most fertile layer of the soil, reducing its organic matter and the presence of microorganisms and nutrients available for the plants. With the results obtained we can conclude that the treatment of wood burnt extraction has been an unfavorable process for the recovery of the ecosystem after suffering a forest fire.

❖ **Key words:** soil, fire, wood extraction, post-fire management.

1 - INTRODUCCIÓN

Según la RAE (2018), se define suelo al conjunto de materias orgánicas e inorgánicas de la superficie terrestre capaz de sostener vida vegetal, por lo tanto, podemos considerar al suelo como base para la vida en el planeta, que influye directa o indirectamente en todos los seres vivos. Los suelos, en sus diferentes tipos, proporcionan un gran número de servicios esenciales tanto para los bosques como para la vida humana y mediante su conservación y protección se puede intervenir contra problemas medioambientales, como la pérdida de biodiversidad, el cambio climático, el abastecimiento de alimentos, la contaminación del aire y la escasez del agua. En la escala de tiempo de vida humana el suelo no se regenera (Brevik et al., 2015), por lo que su conservación de forma sostenible es imprescindible para garantizar la vida.

Los incendios forestales son un fenómeno presente en todo el planeta, exceptuando los polos, y a veces son responsables tanto de la destrucción como la renovación de los bosques. El impacto del fuego está ampliamente investigado en la alteración de la composición florística (Cammeraat e Imeson, 1999), estimulación de la regeneración de árboles (Martínez-Sánchez et al., 1999), aumento de la producción de madera (Vihnanek y Ballard, 1988) y el condicionamiento de la ecología humana (Caldararo, 2002). El fuego es uno de los principales factores que inducen cambios en las comunidades vegetales mediterráneas, tal y como queda demostrado en el registro fósil y sedimentario de numerosas especies (Naveh, 1975). Los ecosistemas están muy influenciados por este fenómeno, de tal manera que se considera como una de las principales causas de cambio en los ecosistemas y en las propiedades del suelo (Cerdà, 2009; Certini, 2005; Llovet et al., 2008). El fuego ha sido utilizado como herramienta de gestión del territorio por el ser humano desde la prehistoria, fragmentando el paisaje (Wrangham et al., 1999). En las últimas décadas, los incendios forestales se han convertido en un factor de origen humano en la mayoría de los casos, donde más del 70% ocurre con una frecuencia e intensidad mucho mayor que el fuego natural (Mataix-Solera y Guerrero, 2007).

La gestión de una zona forestal que ha sufrido un incendio puede provocar efectos adicionales en el ecosistema que pueden llegar incluso a agravar los efectos nocivos del fuego.

Cuando ocurre un incendio forestal es común que la primera herramienta de gestión post-incendio sea proceder a la extracción de la madera quemada. Para la saca de madera, los árboles se tumban, se desraman y se procede a la extracción. Después se lleva a cabo la eliminación de los restos no maderables mediante quema, trituración o astillado. La saca de la madera se ha considerado por lo general como una actuación silvícola necesaria para la restauración de una zona quemada, cuyos beneficios tratan desde eliminar riesgos derivados de la caída de árboles quemados, disminuir riesgos de enfermedades y plagas asociadas a incendios o la reducción del combustible por posibles nuevos incendios (Castro et al., 2009, 2010). Sin embargo, desde hace poco más de una década se ha generado un importante debate en relación con las consecuencias de la retirada de la madera quemada, ya que para la extracción de madera se suele utilizar maquinaria pesada que debido a la vulnerabilidad del suelo a la erosión, compactación y a la degradación, equivale a una gestión potencialmente agresiva para el suelo (Mataix-Solera et al., 2015).

2 - ANTECEDENTES

El incendio forestal por el que compete este estudio se produjo el 12 de julio de 2012, el cual afectó a 545,93 ha en el Parque Natural de la Sierra de Mariola (Figura 1), siendo considerado como gran incendio forestal (GIF) al superar las 500 ha de envergadura y convirtiéndose en el mayor incendio sufrido por la zona desde su nombramiento como Parque Natural. La Sierra de Mariola fue declarada Parque Natural por el Decreto 3/2002, de 8 de enero, del Gobierno Valenciano, [2002/280] (DOGV nº 4167 de fecha 14.01.2002). Se declaran como Zonas de Especial Conservación (ZEC) diez Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) y diez Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), con una superficie total de 19.946 ha y 22.952,38 ha, respectivamente. El fuego afectó de forma mayoritaria a la zona definida como ZEC en la que también entra la ZEPA y varias microrreservas botánicas y parajes naturales de Alcoy y Cocentaina.



Figura 1: Fotografía de la Sierra de Mariola el día que sufrió el incendio. Fuente: LAS PROVINCIAS

Seis meses después del incendio se llevó a cabo la extracción de madera quemada en parte de la zona afectada, utilizándose maquinaria pesada para el arrastre de los troncos, lo que indujo una progresiva degradación de las propiedades del suelo, tanto físicas (estabilidad de agregados, densidad aparente), como químicas (reducción de contenido en materia orgánica en más de un 50%, pérdida de nutrientes) y microbiológicas (disminución de actividad y biomasa microbiana) (García-Orenes et al., 2017).

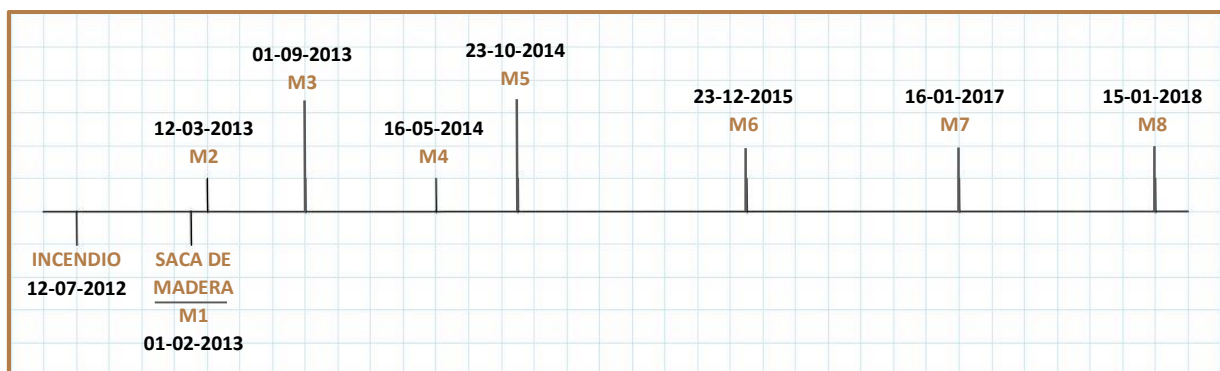


Figura 2: Línea temporal de los muestreos realizados (M1-M8) desde la fecha del incendio hasta la actualidad.

El estudio de este trabajo es una continuación con otros análisis realizados en los últimos cinco años, siendo éste el octavo muestreo de la zona (Figura 2), para evaluar la situación a medio plazo y comprobar el grado de recuperación de la zona tras el impacto que esta gestión post-incendio tuvo en la calidad del suelo (García-Orenes et al., 2017, Pereg et al., 2018).

3 - OBJETIVOS

Este proyecto tiene como objetivo estudiar la evolución de un suelo quemado en un bosque mediterráneo y sus propiedades a lo largo de 5 años tras un tratamiento de extracción de madera.

Se diseñó un programa de muestreos con la finalidad de conocer y valorar el impacto de la saca de madera en la recuperación del suelo. Mediante la comparación de los resultados de análisis actuales (muestreo 8) con los anteriores, se pretende determinar la magnitud del impacto del tratamiento en el suelo a medio plazo.

4 - MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 - DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La zona donde se llevó a cabo el estudio se encuentra situada en la Sierra de Mariola, concretamente en el “Parque Natural de la Sierra de Mariola” (Figura 3) en la localidad de Alcoy, Alicante (coordenadas 38°43'59"N, 0°29'16"O y altitud de 883 m s.n.m.).



Figura 3: Extensión geográfica del Parque Natural de la Sierra de Mariola

La zona (Figura 4) se encuentra bajo un clima típico Mediterráneo. La precipitación media anual es de 490 mm, con los máximos en octubre-noviembre (71 mm). La temperatura media anual es de 14,8 °C (verano: 22,7 °C, invierno: 7,9 °C).

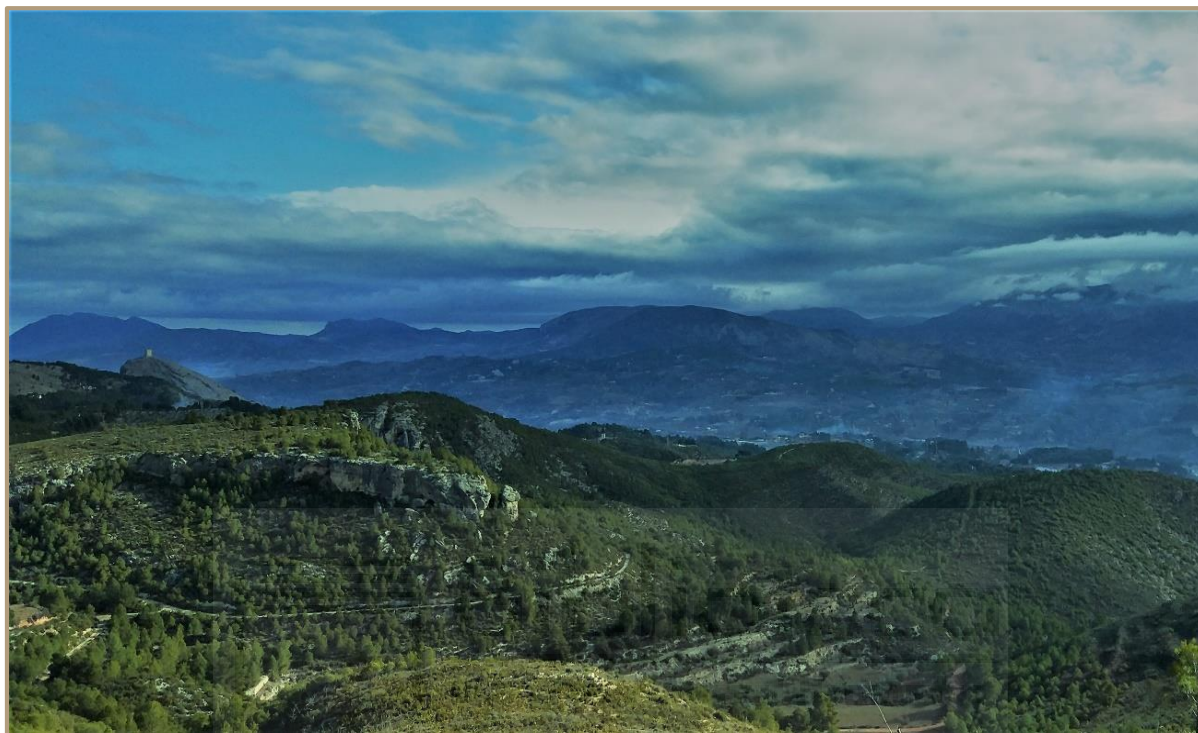


Figura 4: Vista panorámica de la Sierra de Mariola

La especie arbórea predominante es el *Pinus halepensis*, formando un pinar de alrededor de 40 años, con especies arbustivas típicas del bosque mediterráneo como *Quercus coccifera*, *Rosmarinus officinalis*, *Thymus vulgaris* o *Brachypodium retusum*. La Sierra de Mariola es un conjunto montañoso situado en las sierras béticas valencianas, cuyo material predominante es la caliza, con suelos poco desarrollados sobre margas, arenas y arcillas. El suelo de la zona de estudio se clasifica como un Xerorthent típico según la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014), y está desarrollado sobre margas; tanto el suelo como el material parental son muy vulnerables a los procesos de erosión y degradación. El suelo tiene un 4,6% de contenido en materia orgánica en los primeros 5 cm, un 44% de carbonatos, y su textura se compone por 45% arena, 39% limo y 17% arcilla. El pH del suelo es ligeramente alcalino (8,3) y presenta una conductividad eléctrica de 172,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.2 - TOMA DE MUESTRAS

La recogida de muestras para realizar los análisis se realizó el día 15 de enero de 2018, formando así el octavo muestreo (M8) que se llevó a cabo en la zona, siguiendo las mismas pautas que en sus predecesores (Jara-Navarro, 2015 y López-Caravaca, 2017).

En la zona de estudio hay instaladas seis parcelas de 2 x 2 m² (Figura 5), tres de las cuales están en la zona de control (C), quemada pero donde no se ha realizado ningún tratamiento, y las otras tres corresponden con el tratamiento de saca de madera (S), estas parcelas sirven como referencia geográfica para tomar las muestras alrededor de las mismas y sirvieron como parcelas inalteradas en su día para evaluar la recuperación de la vegetación (Jara-Navarro, 2015).

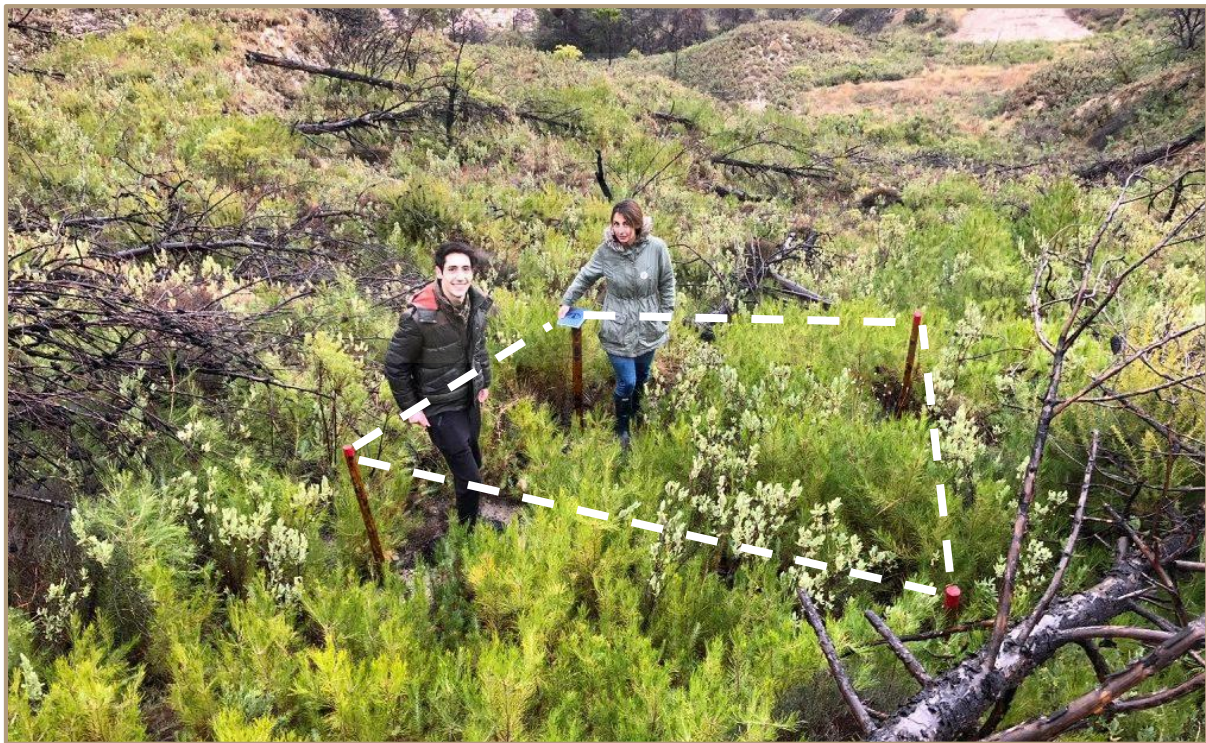


Figura 5: Ejemplo de parcela de 2 x 2 m² en la zona control.

Alrededor de cada parcela se recogieron tres muestras, formando un total de 18 muestras (9 control + 9 saca). Con el fin de obtener unos resultados comparativos, las parcelas de ambos tratamientos se situaron en zonas con condiciones similares en cuanto a su orientación, pendiente y vegetación previa.

4.3 - MÉTODOS DE ANÁLISIS

En las muestras de suelo tomadas en campo se analizaron los siguientes parámetros en laboratorio: conductividad eléctrica (CE), pH, estabilidad de agregados (EA), capacidad de campo (CC), contenido de materia orgánica (MO), contenido en nitrógeno (N), contenido en fósforo asimilable (P), carbono de la biomasa microbiana (CBM) y respiración edáfica basal (REB).

❖ Estabilidad de agregados (EA)

La estabilidad de agregados se mide siguiendo el método de Roldán et al. (1994), basado en el método de Benito y Díaz-Fierros (1989). Este método analiza la proporción de agregados que permanecen estables después de someter la muestra de suelo (tamizada entre 4-0,25 mm) a una lluvia generada artificialmente de energía conocida (270 J m^{-2}).

❖ Capacidad de campo (CC)

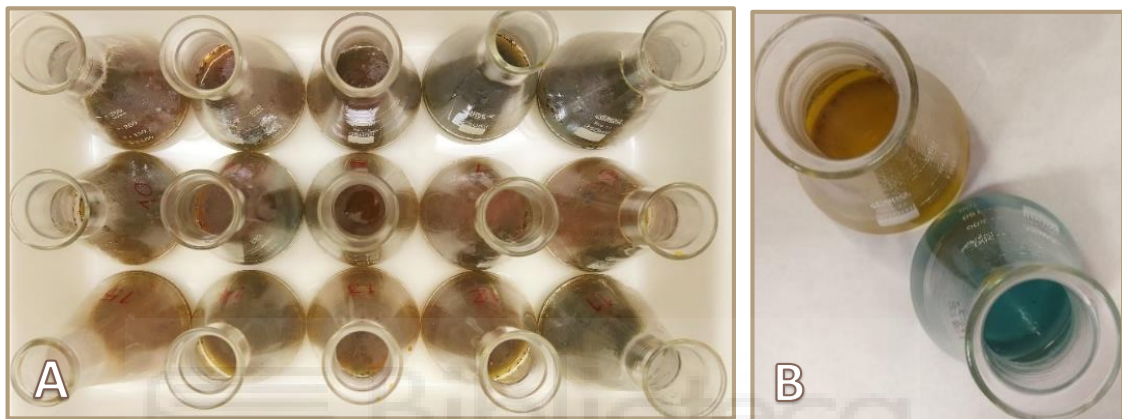
La capacidad de campo se analiza midiendo la cantidad de agua retenida por el suelo cuando éste está saturado al 100% (Cassel y Nielsen, 1986). La determinación se realiza administrando agua al suelo y dejando que drene el exceso que no sea capaz de retener (Figura 6).



Figura 6: Muestras de suelo preparadas para someterse a la saturación de agua.

❖ Materia orgánica (MO)

La materia orgánica se calcula a partir del carbono orgánico oxidable que se encuentran en la muestra de suelo, mediante el método de oxidación (Figura 7A) con dicromato potásico (Nelson y Sommers, 1982) y una valoración de viraje de color (Figura 7B) utilizando sulfato ferroso amónico (Sal de Mohr) y difenilamina.



Figuras 7A y 7B: A la izquierda, matraces con muestras de suelo tras la oxidación con dicromato potásico. A la derecha, viraje de color tras la reacción con Sal de Mohr.

❖ Nitrógeno Kjeldahl (N)

En la determinación del contenido de nitrógeno presente en el suelo se ha utilizado el método Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982), que cuantifica el nitrógeno orgánico y amoniacal. Tras una digestión a 420°C durante 90 min se lleva a cabo una destilación y una valoración con ácido clorhídrico (Figura 8).

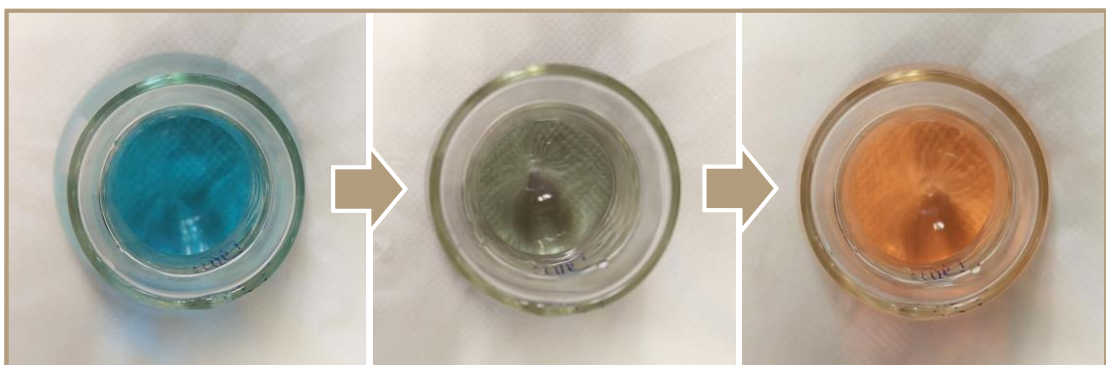


Figura 8: Viraje de color de azul a naranja tras la reacción con ácido clorhídrico.

❖ Fósforo asimilable (P)

El contenido de fósforo asimilable por las plantas se analiza siguiendo el método de disolución extractora de Burriel-Hernando (Díez, 1982), y a continuación se toman las medidas con el espectrofotómetro UV.

❖ Carbono de la biomasa microbiana (CBM)

Para el análisis del carbono procedente de la biomasa microbiana del suelo se utiliza el método de fumigación con cloroformo de Jenkinson y Powson (1976) adaptado por Vance et al. (1987). A continuación, se realiza una extracción con sulfato potásico para posteriormente proceder a la oxidación del carbono soluble con dicromato potásico en medio ácido. Finalmente se mide con el espectrofotómetro UV (Figura 9).

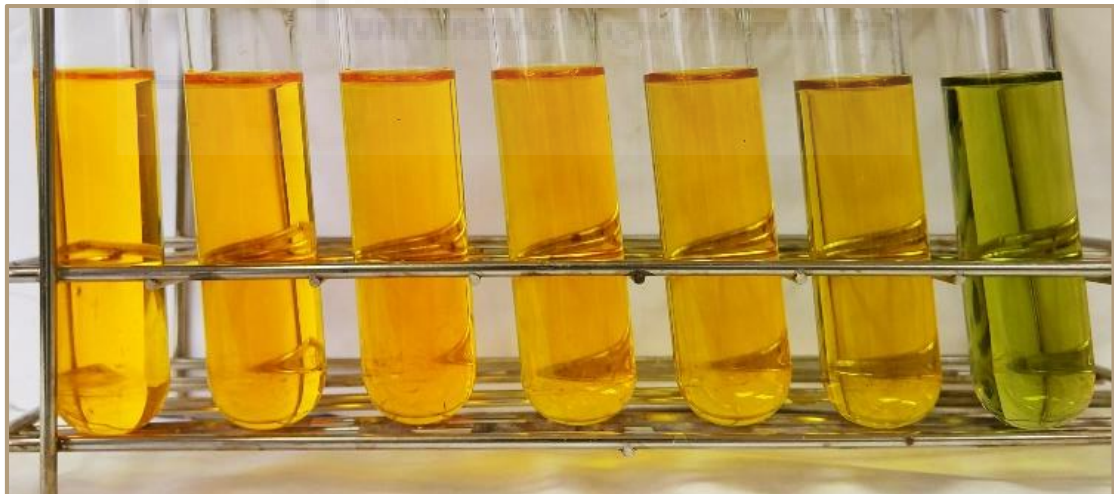


Figura 9: Muestras de la recta de calibrado del contenido de Carbono orgánico preparados para la espectrofotometría.

❖ Respiración edáfica basal (REB)

Para la determinación del nivel de CO_2 procedente de la oxidación de los compuestos orgánicos del suelo por microorganismos heterótrofos aerobios se ha utilizado un respirómetro de sensor múltiple (Micro-Oxymax, Columbus, OH, USA).

4.4 - ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los valores de los parámetros estudiados se ajustaron a una distribución normal mediante el test Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$). Para comparar el efecto del tratamiento post-incendio (Control vs Saca) se ha realizado el test t-Student para muestras independientes para cada uno de los muestreos. Además, para comparar la evolución temporal se ha realizado un test ANOVA para cada uno de los parámetros estudiados. Los grupos de variabilidad se han establecido siguiendo el test post-hoc Tukey ($p < 0,05$), asumiendo varianzas iguales. Todo el análisis estadístico se realizó con el programa SPSS versión 24.0 (IBM SPSS statistics 2016).

5 - RESULTADOS

Los resultados obtenidos se han organizado y se muestran según propiedades físicas, químicas o biológicas. En los gráficos la comparativa estadística que se muestra es entre muestreos para cada tratamiento, es decir, letras diferentes entre muestreos para control o saca indican diferencias estadísticas entre muestreos (evolución temporal).

Estadísticamente se ha realizado también una comparativa para cada parámetro entre tratamientos para cada uno de los muestreos. Los resultados indican que en este muestreo (M8) hay diferencias significativas para todos los parámetros estudiados (Tabla 1).

Tabla 1. Diferencias estadísticas entre control y saca para cada muestreo y su significancia. Significancia: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$; ns: no significativo ($p > 0,05$). EA: estabilidad de agregados; CC: capacidad de campo; MO: contenido de materia orgánica; N: contenido en nitrógeno; P: fósforo asimilable; CBM: carbono de la biomasa microbiana; REB: respiración edáfica basal.

| Parámetro | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
|--------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| EA (%) | ns | *** | *** | *** | *** | *** | ns | ** |
| CC (%) | ** | ns | ** | *** | ** | *** | *** | *** |
| MO (%) | ns | ns | *** | *** | *** | * | * | *** |
| N (%) | ns | ns | ** | *** | *** | *** | *** | *** |
| P (mg P / Kg) | ns | ns | ** | ns | *** | * | *** | ** |
| CBM (mg C / Kg) | ns | * | *** | *** | *** | * | *** | *** |
| REB C-CO ₂ (µg/h/g) | ns | ** | ns | ** | *** | * | *** | *** |

5.1 - PROPIEDADES FÍSICAS (EA y CC)

Las propiedades físicas estudiadas se ven afectadas por el tratamiento de extracción de madera. Como se puede observar en la Figura 10, la Estabilidad de Agregados (EA) comenzó con valores del 90% pero tras la saca de madera disminuyó más de un 20% a los 6 meses después de la extracción de madera (M2). En el resto de muestreos los valores se mantienen estables rondando valores entre el 70 - 80% en la saca y entre el 80 - 90% en la zona control. El muestreo 7 es una excepción, donde hay una disminución tanto en el control como en la saca, debido a unas lluvias torrenciales ocurridas ese año (López-Caravaca, 2017). En este último muestreo (M8) hemos podido ver que tanto la zona control como la de saca se están recuperando respecto a la disminución del muestreo 7, aumentando un 10% de EA en la zona control y un 5% en la zona de saca.

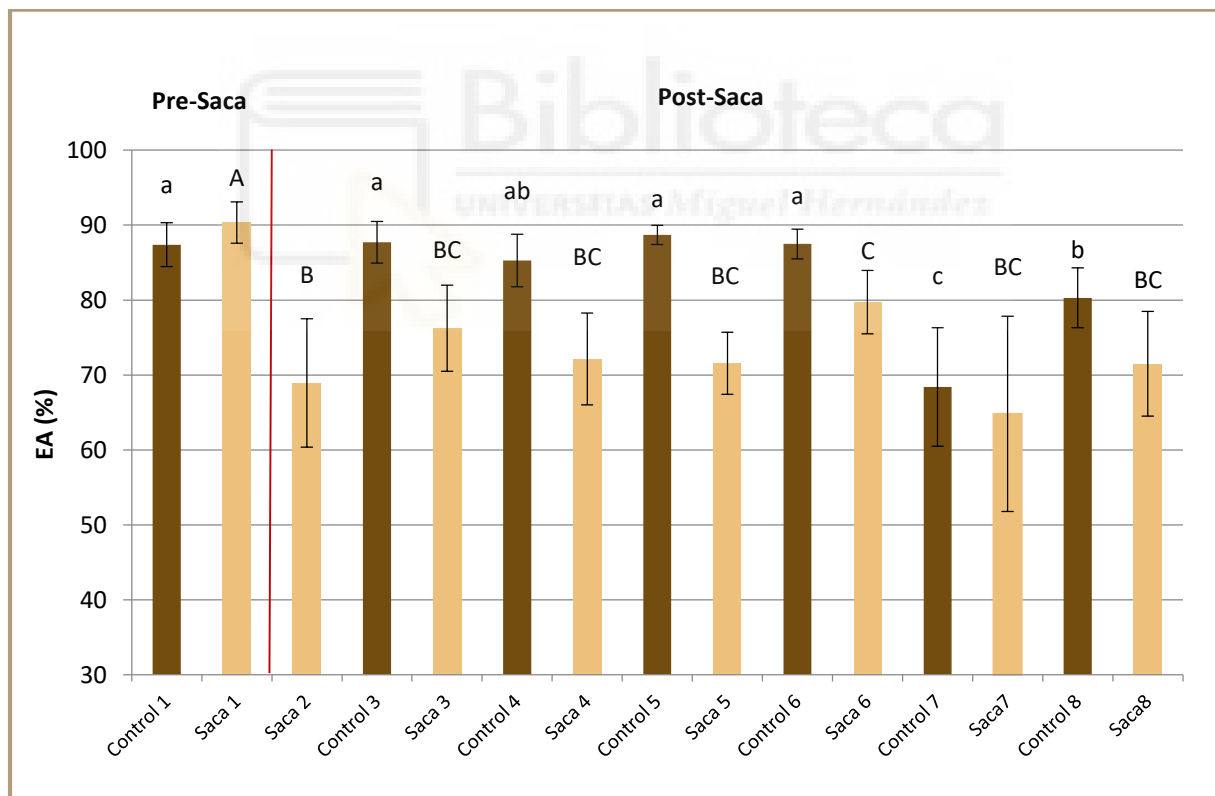


Figura 10. Evolución temporal de la estabilidad de agregados (EA) para la zona no tratada (Control) y la extracción de madera (Saca). Periodo del estudio 5 años. Las diferentes letras contenidas sobre cada barra indican las diferencias significativas entre muestreos (1-8), representados en minúscula para la zona control y en mayúscula para la saca.

Con respecto a los análisis de Capacidad de Campo (CC), tal y como se observa en la Figura 11, los valores se mantienen estables en un mismo rango, situándose entre el 90 - 110% en la zona control y entre el 70 - 90% en la zona de saca. En todo el periodo de estudio (M1-M8) hay una clara diferencia entre la zona control y la de saca, donde la zona con extracción de madera presenta valores más bajos que la zona control (aproximadamente un 20% de diferencia) en todos los muestreos.

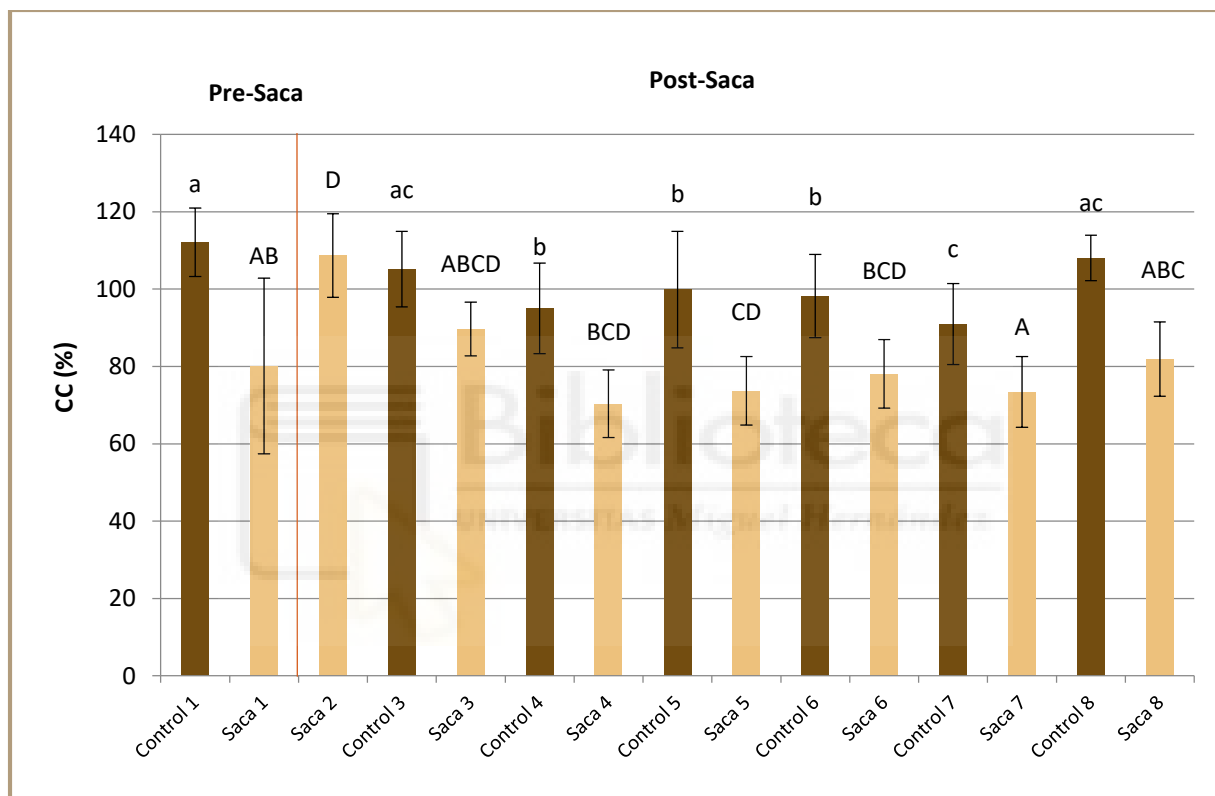


Figura 11. Evolución temporal de la capacidad de campo (CC) para la zona no tratada (Control) y la extracción de madera (Saca). Periodo del estudio 5 años. Las diferentes letras contenidas sobre cada barra indican las diferencias significativas entre muestreos (1-8), representados en minúscula para la zona control y en mayúscula para la saca.

5.2 - PROPIEDADES QUÍMICAS (MO, N, P)

La evolución del contenido en materia orgánica (MO) del suelo por lo general se ha mantenido estable y sin variaciones en la zona control hasta el M8 con valores entre el 6 - 8% (Figura 12). En la zona de saca de madera tras el descenso ocurrido entre los muestreos M2-M5, hubo una cierta recuperación en el M6 y M7, pero en este último ha vuelto a disminuir.

La zona de extracción de madera muestra valores muy inferiores al control en todos los muestreos (4-5% de diferencia en los muestreos 3, 4, 5 y 8; 2% de diferencia en los muestreos 6 y 7).

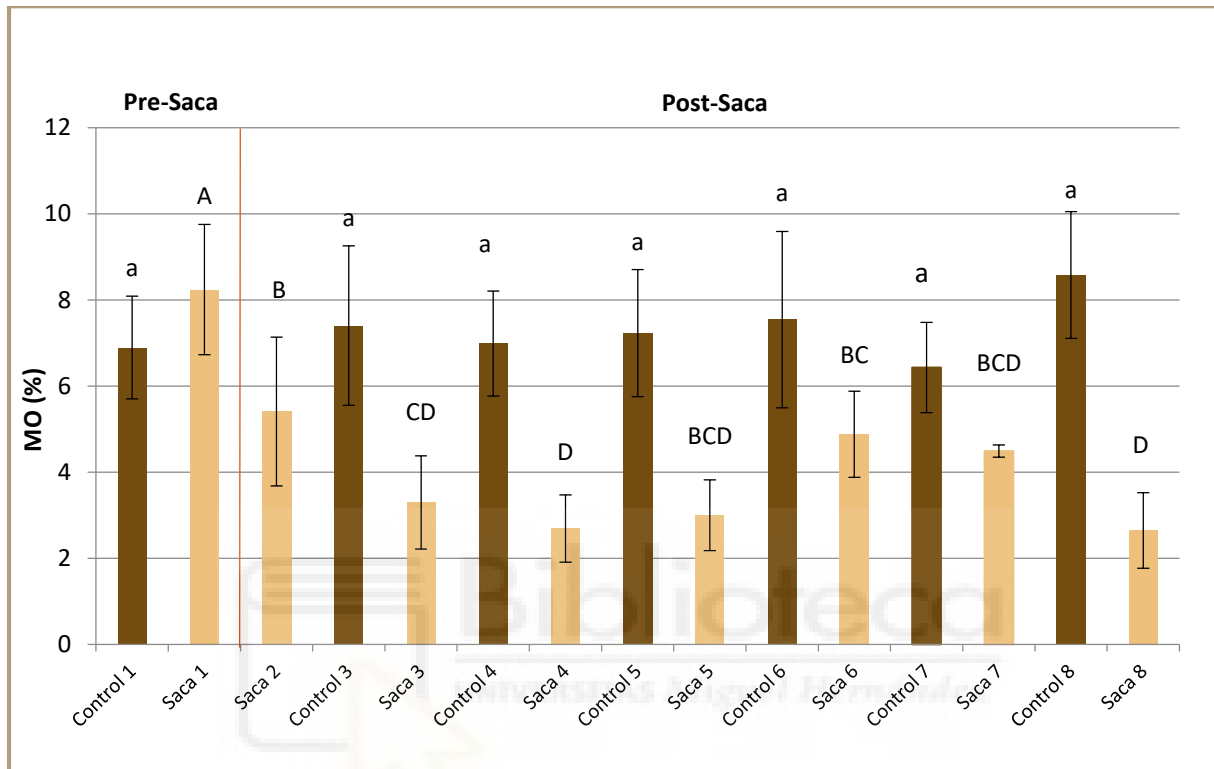


Figura 12. Evolución temporal del contenido de materia orgánica (MO) para la zona no tratada (Control) y la extracción de madera (Saca). Periodo del estudio 5 años. Las diferentes letras contenidas sobre cada barra indican diferencias significativas entre muestreo (1-8), representados en minúscula para la zona control y en mayúscula para la saca.

Los niveles de nitrógeno (N) siguen una evolución similar a los de MO. Se observan aumentos y disminuciones de los valores en los mismos muestreos de forma proporcional (Figura 13). Sin embargo, en este último muestreo (M8) se puede observar cómo la zona de saca se ha mantenido estable con valores del 0,13% desde el M7 a pesar de que la zona control sí que ha aumentado ligeramente (0,03%) con respecto al M7.

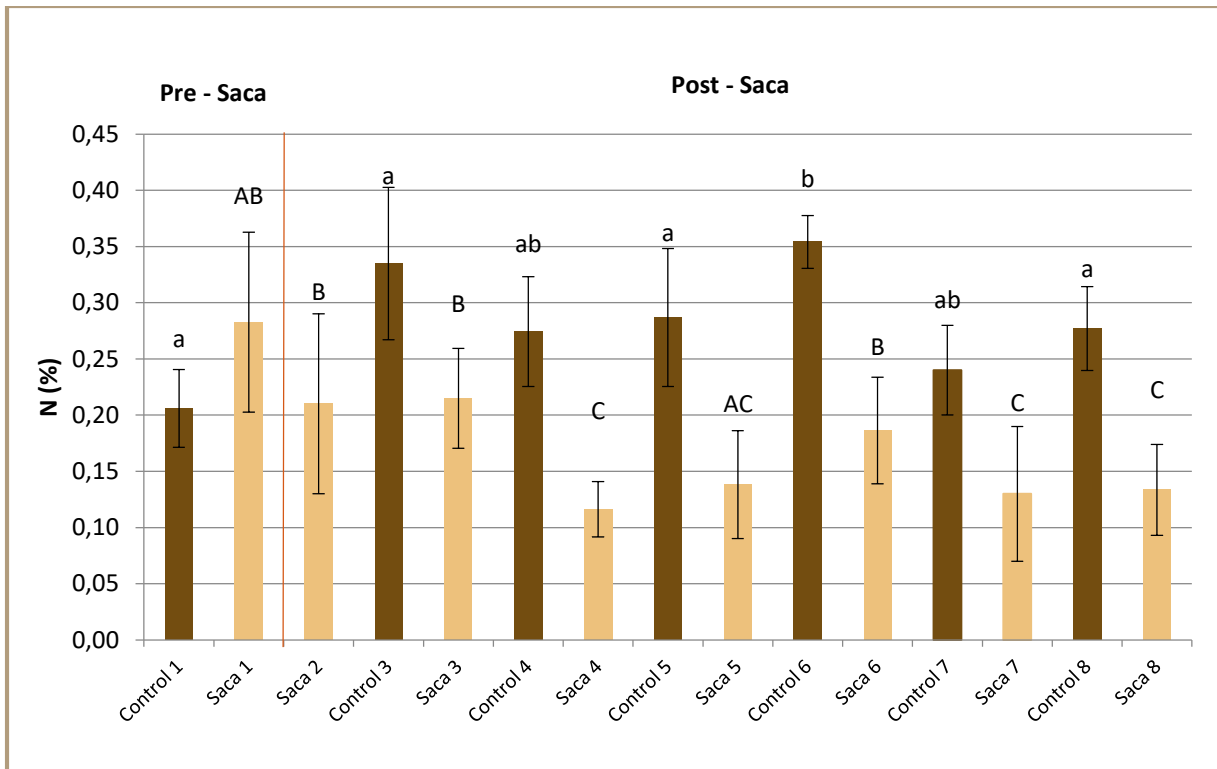


Figura 13. Evolución temporal del contenido en nitrógeno (N) para la zona no tratada (Control) y la extracción de madera (Saca). Periodo del estudio 5 años. Las diferentes letras contenidas sobre cada barra indican las diferencias significativas entre cada muestreo (1-8), representados en minúscula para la zona control y en mayúscula para la saca.

El contenido de fósforo asimilable (P) ha ido disminuyendo a lo largo de los cinco años de estudio tanto en la zona control como en la de saca (Figura 14). Se observan claramente valores mayores en la zona control que en la de saca a partir del muestreo 3 de manera significativa (Tabla1).

Tanto antes como después de aplicarse el tratamiento de extracción de madera, el fósforo estaba en un valor del 35 mg P/Kg en ambos muestreos (M1 y M2) pero un año después el M3 indica cómo la zona de saca bajó más de la mitad, hasta los 12 mg P/Kg. El muestreo con menor contenido de fósforo asimilable registrado ha sido este último (M8) con unos valores de 9,59 mg P/Kg en la zona control y 5,65 mg P/Kg en la zona de saca.

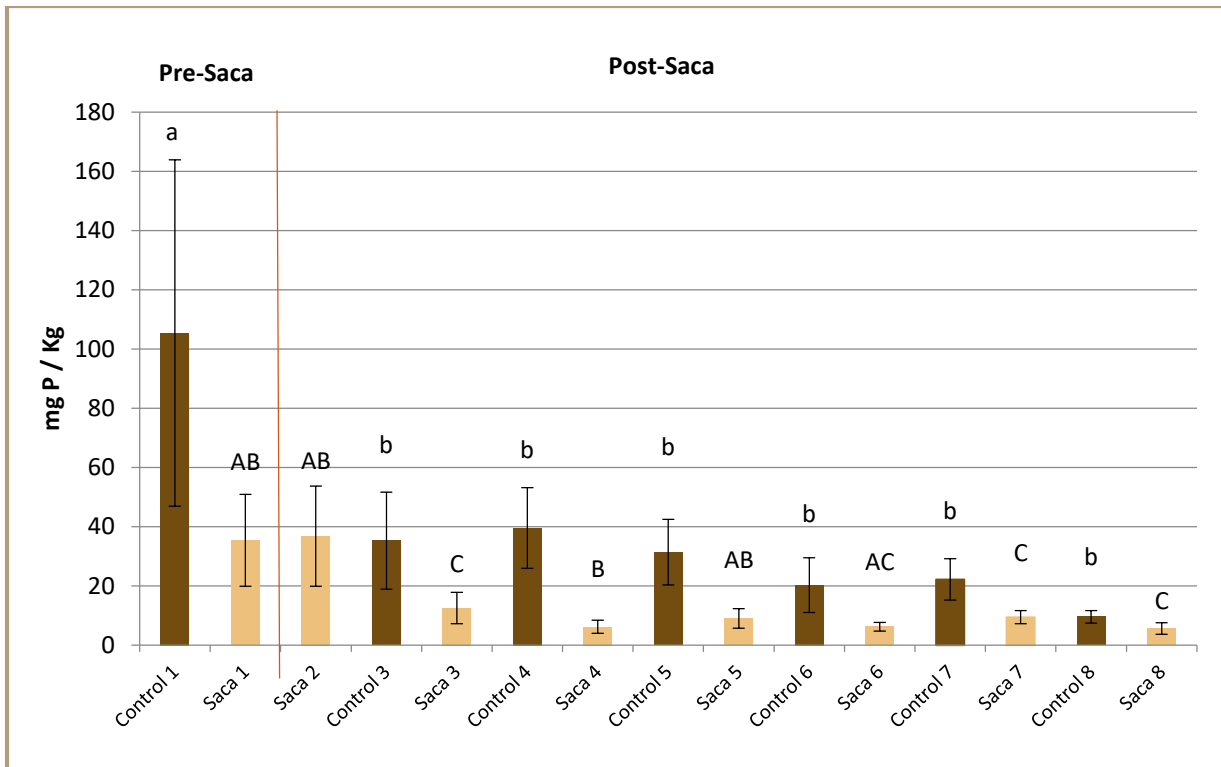


Figura 14. Evolución temporal del contenido en fósforo (P) para la zona no tratada (Control) y la extracción de madera (Saca). Periodo del estudio 5 años. Las diferentes letras contenidas sobre cada barra indican las diferencias significativas entre muestreos (1-8), representados en minúscula para la zona control y en mayúscula para la saca.

5.3 – PROPIEDADES BIOLÓGICAS (CBM, REB)

Los valores de carbono de la biomasa microbiana (CBM) se vieron muy afectados por el efecto del fuego nada más ocurrir el incendio, rondando los 200 mg C/Kg en ambas zonas (control y saca). A lo largo del periodo de estudio los valores de carbono se han recuperado en la zona control, superando los 1000 mg C/Kg desde el muestreo 3 (Figura 15). En la zona de saca, por el contrario, los valores llegan apenas a los 600 mg C/Kg tras 5 años, siendo el valor más alto alcanzado el de este último muestreo (M8).

Todos los muestreos son muy similares entre sí, oscilando entre valores muy parecidos. El único muestreo que difiere del resto es el M7 donde los valores son muy inferiores con respecto a los otros muestreos, con valores de 589 mg C/Kg en la zona control y 275 mg C/Kg en la zona de saca.

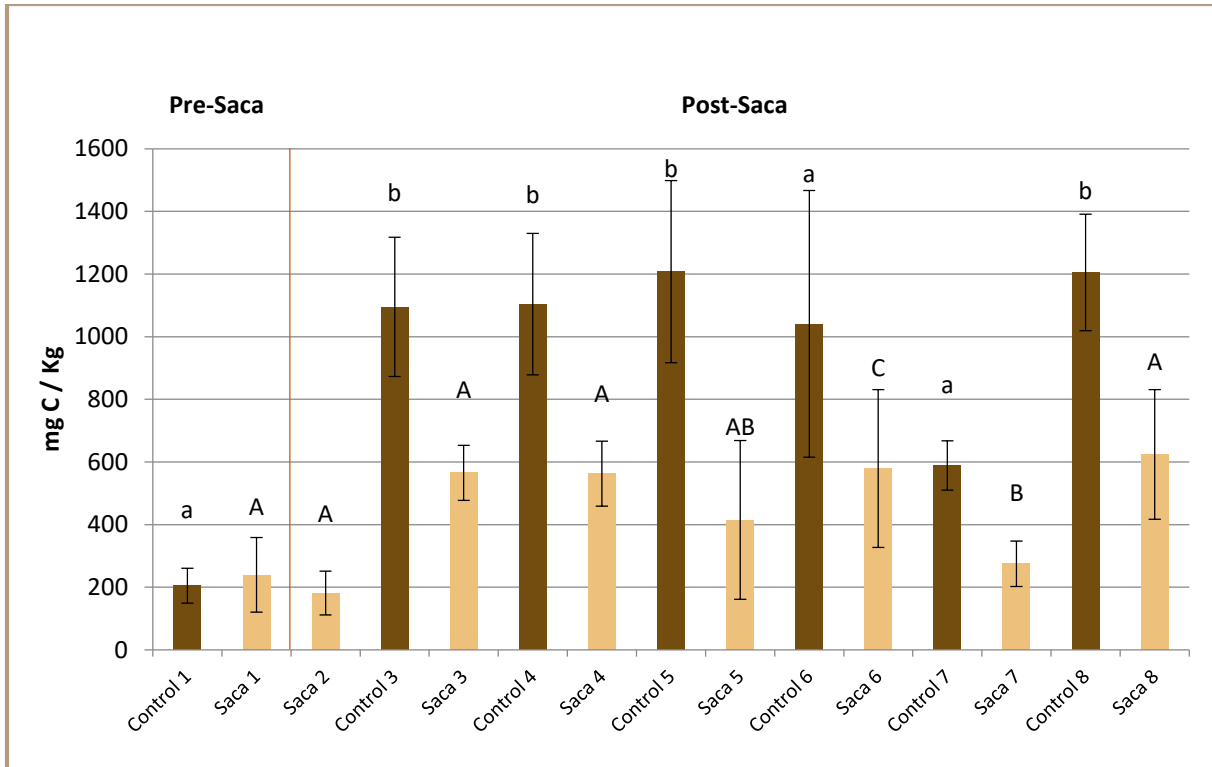


Figura 15. Evolución temporal del carbono procedente de la biomasa (CBM) para la zona no tratada (Control) y la extracción de madera (Saca). Periodo del estudio 5 años. Las diferentes letras contenidas sobre cada barra indican las diferencias significativas entre cada muestreo (1-8), representados en minúscula para la zona control y en mayúscula para la saca.

En la evolución de la Respiración Edáfica Basal (REB) se observan por lo general diferencias significativas entre la zona control y la zona de saca, donde los valores de saca son mucho menores (Figura 16). En el caso de la zona control hay un aumento progresivo hasta el muestreo 6 ($3,63 \mu\text{g}/\text{h}/\text{g}$ de C-CO_2) que luego ha disminuido en los dos últimos muestreos hasta el valor actual de $2,37 \mu\text{g}/\text{h}/\text{g}$ de C-CO_2 .

En la zona de saca, sin embargo, el muestreo con mayor valor registrado fue el muestreo 3 con $1,58 \mu\text{g}/\text{h}/\text{g}$ de C-CO_2 . Los distintos valores de la zona de tratamiento de los diferentes muestreos no presentan variaciones tan grandes como la zona de control, pero todos ellos son inferiores al valor registrado antes de la extracción de madera quemada. En la zona control por el contrario todos los valores posteriores al primer muestreo (M1) son superiores a éste.

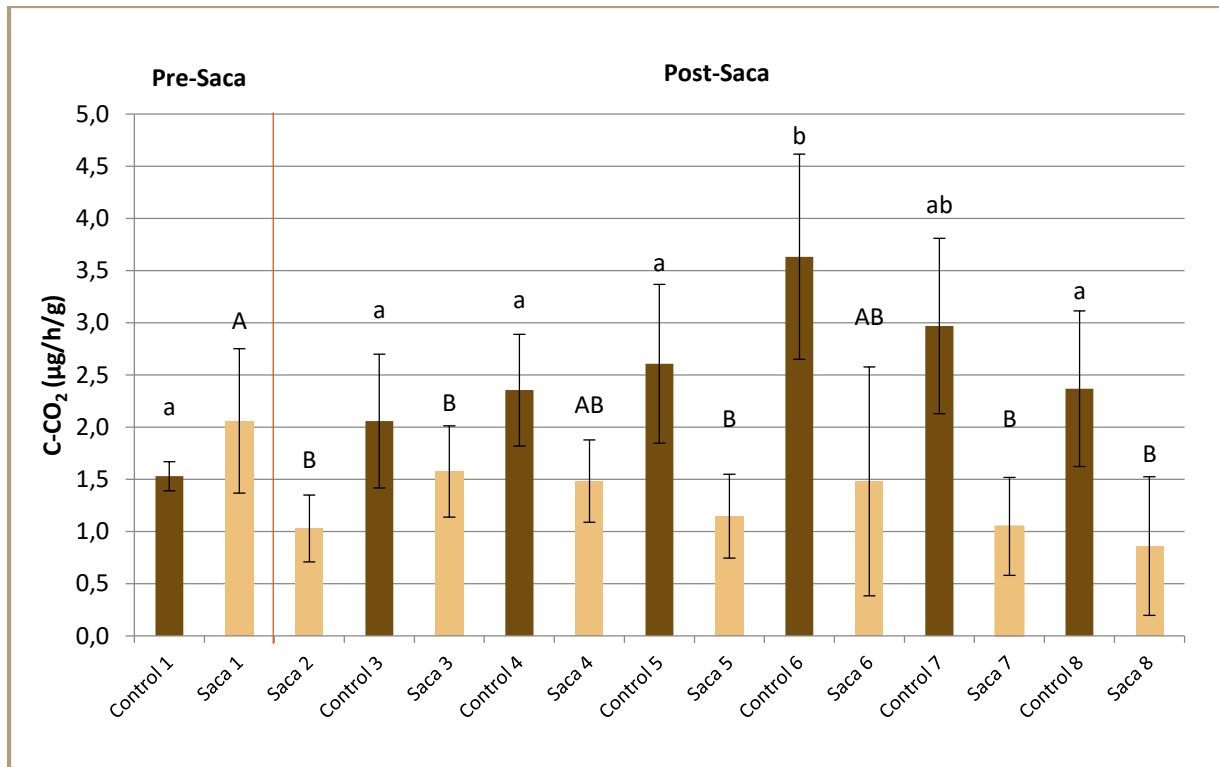


Figura 16. Evolución temporal de la respiración edáfica basal (REB) para la zona no tratada (Control) y la extracción de madera (Saca). Periodo del estudio 5 años. Las diferentes letras contenidas sobre cada barra indican las diferencias significativas entre cada muestreo (1-8), representados en minúscula para la zona control y en mayúscula para la saca.

6 – DISCUSIÓN

Con los resultados obtenidos, tras 5 años de estudio se puede observar una degradación general de todas las propiedades del suelo tras el tratamiento de saca de madera. En todos los parámetros analizados en este último muestreo hay diferencias significativas entre la zona control y la de saca.

Las propiedades físicas se ven afectadas por la extracción de madera mediante el uso de maquinaria y arrastre de troncos sobre el suelo e influye en su velocidad de recuperación. Durante los dos primeros años de este estudio se observó una degradación progresiva de las propiedades del suelo como consecuencia de una erosión acelerada en la zona de saca de madera (García-Orenes et al., 2017; Pereg et al., 2018). Con respecto a los EA y la CC, tanto en uno como en otro la recuperación del control ha sido el doble que la de saca en este último

muestreo. Esto demostraría que el tratamiento de saca de madera no sólo afecta de una manera directa al suelo, sino también a su capacidad de recuperación tras un incendio. El fuego puede alterar los agregados estables de forma significativa, pero la variación depende mucho del tipo de incendio, su severidad y también el tipo de suelo, en ocasiones incluso se han encontrado aumentos tras el incendio debidos a cambios mineralógicos, mostrando valores más altos comparado con suelos no quemados (Arcenegui et al., 2008, , Mataix-Solera et al., 2011; Jiménez-Pinilla et al., 2016). En este estudio partimos de una diferencia no significativa (Tabla1) entre las dos zonas de estudio (control y saca) donde ambas han sufrido los efectos del fuego, pero tras la extracción de madera quemada los EA muestran una clara diferencia significativa ($p < 0,001$) entre las dos zonas. El suelo de la zona de saca presenta una estructura más débil, y por lo tanto más propensa a la degradación y la erosión.

De entre los cambios en las propiedades del suelo tras un incendio, la más intuitiva es la pérdida de materia orgánica. Dependiendo de la severidad del fuego, el impacto sobre la MO consiste en una ligera destilación (volatilización de constituyentes menores), carbonización u oxidación completa, aunque en ocasiones el balance es un incremento debido al aporte de material vegetal semipirolizado como consecuencia de incendios de baja severidad (Mataix-Solera et al., 2002). El consumo sustancial de MO comienza en el rango de 200-250°C para completarse alrededor de 460°C (Giovannini et al., 1988). La recuperación de la materia orgánica del suelo en las áreas quemadas comienza con la reintroducción natural o artificial de la vegetación y generalmente es rápida, gracias a la alta productividad primaria neta de las sucesiones ecológicas secundarias. Los efectos del fuego en el C orgánico del suelo deben evaluarse no solo en términos cuantitativos sino también de manera cualitativa. En un trabajo de Fernández et al. (1997) los 10 cm superiores de un suelo bajo *Pinus sylvestris* se calentaron a cuatro temperaturas diferentes: 150, 220, 350 y 490°C. Si bien la temperatura más baja fue totalmente ineficaz y la más alta llevó a la oxidación completa de la materia orgánica del suelo, las temperaturas intermedias impusieron grandes cambios estructurales. A 220°C, donde se perdió el 37% de materia orgánica, todas las formas principales de C se pirolizan. La pérdida de MO con el tiempo a corto y medio plazo es también atribuible a la erosión post-incendio de los primeros centímetros del suelo, donde se encuentra la parte más fértil. Si a los efectos negativos producidos por el fuego en los primeros centímetros del suelo

se le añade la erosión inducida por el tratamiento de extracción de madera, la degradación del suelo tras el incendio es mucho mayor.

La disminución del contenido de MO por el incendio afecta a las propiedades químicas del suelo y ha influido negativamente en sus propiedades como el contenido de fósforo y de nitrógeno. Las repercusiones de los incendios en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes se han investigado especialmente para el N y el P. La respuesta inmediata del N orgánico del suelo al calentamiento es una disminución debido a alguna pérdida por volatilización (Fisher y Binkley, 2000). Como puede observarse en la Figura 12 los valores de N se han recuperado significativamente más rápido en la zona control que en la zona de saca.

En todos los muestreos realizados durante el estudio se ha observado diferencias muy significativas entre los valores de control y saca, donde los análisis de la zona de tratamiento son significativamente inferiores (Tabla 1). Como respuesta a esta degradación, mientras que los niveles de nitrógeno se recuperan de forma proporcional al contenido de MO, el contenido de fósforo asimilable es el parámetro más afectado por este cambio, donde se observa una reducción continua y sin recuperación aparente. Los incendios forestales no tienen necesariamente el mismo impacto en el contenido de P que en el N, porque las pérdidas de P por volatilización o lixiviación son pequeñas. Sin embargo, la combustión de la vegetación y la hojarasca causa grandes modificaciones en el ciclo biogeoquímico del P. La quema del suelo convierte el conjunto orgánico de P en ortofosfato (Cade-Menun et al., 2000), la única forma de P disponible para la biota. Por lo tanto, los incendios resultan en un enriquecimiento del P disponible (Serrasolsas y Khanna, 1995), pero este enriquecimiento está destinado a disminuir pronto. De hecho, en suelos ácidos, el ortofosfato se une a los óxidos de Al, Fe y Mn por adsorción, mientras que en suelos neutros o alcalinos se une a los minerales de Ca^{2+} o se precipita como fosfato de calcio ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). El pico de la biodisponibilidad de P se encuentra alrededor de pH 6,5 (Sharpley, 2000), cuanto más próximo se encuentre el pH del suelo hacia la neutralidad tiene un efecto positivo en este sentido. Las muestras de suelo estudiadas presentan un pH de 8,3, determinando un suelo ligeramente alcalino. La pérdida continua del P asimilable durante todos los muestreos puede atribuirse a dos factores fundamentales: la alcalinidad que presenta el suelo de la zona y el consumo en gran medida del fósforo por parte de la vegetación que ha ido creciendo estos años tras el incendio.

La madera quemada constituye una importante fuente de nutrientes de liberación lenta, permitiendo la reincorporación de los nutrientes al ecosistema (Freedman et al., 1981; Augusto et al., 2000; Merino et al., 2003; Marañón-Jiménez et al., 2013), lo que resulta especialmente importante en el caso de los micronutrientes debido a su escasez en el suelo, y en el caso de los macronutrientes debido a la gran demanda de éstos por la vegetación en las primeras etapas de la regeneración (López-Serrano et al., 2005; Merino et al., 2003; Marañón-Jiménez y Castro, 2013), por lo que las propiedades químicas y biológicas se ven gravemente afectadas por el tratamiento de extracción de madera.

La biomasa y la respiración edáfica basal están estrechamente relacionados con la estructura del suelo y al contenido de materia orgánica (Joergensen et al., 1995; Raubuch y Beese, 1998), por lo que en la zona donde se ha aplicado la saca de madera presenta valores muy inferiores con respecto a la zona control, ya que el tratamiento ha afectado negativamente al suelo. El gran impacto del fuego sobre el CBM se ve claramente en el muestreo 1 (Figura 14) realizado seis meses después del incendio se registraron valores de 200 mg C/Kg cuando el promedio de contenido en carbono habitual de esta región es de 800-1200 mg C/Kg (Zornoza et al., 2007; García-Orenes et al., 2012). A lo largo de los años de estudio, los valores de CBM de la zona control se han ido recuperando a una velocidad mucho mayor que la zona de tratamiento con saca. La biomasa microbiana es un parámetro muy sensible a los cambios e interdependiente de la estructura del suelo, contenido en materia orgánica y otras propiedades (García-Orenes et al., 2010).

Los valores actuales de carbono de la biomasa microbiana en la zona control presentan una recuperación casi completa, llegando a alcanzar los niveles de CBM habituales registrados en la misma región. Los valores de la zona de saca de madera, por el contrario, sólo alcanzan la mitad de esos valores. Esto demuestra el grave impacto negativo del tratamiento de extracción de madera en el contenido de CBM del suelo.

7 - CONCLUSIÓN

Después de 5 años de estudio la zona de saca continúa gravemente afectada y sin signos claros de recuperación. La zona de control presenta valores significativamente más favorables que la de saca en todas las propiedades físicas, químicas y biológicas estudiadas, por lo tanto, la vulnerabilidad del suelo a la degradación en la zona de saca de madera continúa siendo elevada. Tras observar los resultados de análisis de todos los parámetros estudiados consideramos que, bajo estas condiciones de tipo de suelo, climatología, y momento de realización, el tratamiento de extracción de madera quemada (6 meses desde el incendio), este manejo ha sido inapropiado para una adecuada recuperación del ecosistema tras sufrir un incendio forestal.

8 - PROYECCIÓN FUTURA

Tras los cinco años realizando análisis sobre las propiedades del suelo, se continuará analizando la zona y comparando los resultados para el seguimiento de la evolución de la zona tratada con la saca de madera, así como la zona control.

A su vez, en la misma zona de estudio se ha desempeñado un nuevo tratamiento en el suelo basado en el clareo de la zona control en aquellos rodales donde la regeneración de pinar muestra una elevada densidad.

Este tratamiento se realizó el 21 de diciembre de 2017 y el objetivo es eliminar o disminuir la alta competitividad entre individuos de la especie vegetal predominante *Pinus halepensis* y evitar masas forestales futuras con elevada densidad de pinos pequeños. Se quiere comprobar si este tratamiento afecta a las propiedades del suelo.



Figura 17. Poda de individuos de *Pinus halepensis* para el tratamiento de clareo.

En el tratamiento de clareo han sido talados todos los ejemplares (57 individuos de media por parcela) de *Pinus halepensis* de cada una de las tres parcelas de estudio, dejando solamente un individuo en cada parcela (Figura 17). Con la eliminación de pinos se quiere saber en qué medida afecta el tratamiento tanto al suelo (propiedades y calidad) como a los individuos (crecimiento y desarrollo). Partiendo de unas medidas de análisis muestreadas el 15 de enero de 2018 de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además del tamaño y número de individuos presentes de *Pinus halepensis*, se elaborarán comparativas futuras entre los resultados obtenidos actualmente y los muestreos futuros para observar su evolución.

8 - BIBLIOGRAFÍA

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: 219-226.

- Augusto, L., Ranger, J., Ponette, Q., Rapp, M. (2000). Relationships between forest tree species, stand production and stand nutrient amount. *Annals of Forest Science* 57: 313-324.
- Benito, E., Díaz-Fierros, F. (1989). Estudio de los principales factores que intervienen en la estabilidad estructural de los suelos de Galicia. *Anales de Edafología y Agrobiología* 48: 229-253.
- Bremner, J.M., Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen total. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds), *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Madison: 595-624.
- Brevik, E.C., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J.N., Six, J., Van Oost, K. (2015). The interdisciplinary nature of soil. *SOIL* 1: 117–129.
- Cade-Menun, B.J., Berch, S.M., Preston, C.M., Lavkulich, L.M. (2000). Phosphorus forms and related soil chemistry of Podzolic soils on northern Vancouver Island. II. The effects of clear-cutting and burning. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 1726–1741.
- Caldararo, N. (2002). Human ecological intervention and the role of forest fires in human ecology. *Science of the Total Environment* 292: 141–165.
- Cammeraat, L.H., Imeson, A.C. (1999). The evolution and significance of soil-vegetation patterns following land abandonment and fire in Spain. The significance of soil, water and landscape processes in banded vegetation patterning. *Catena* 37: 107–127.
- Cassel, D.K., Nielsen, D.R. (1986). Field capacity and available water capacity. In KLUTE, A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. SSSA Book Series. 5: 901-926.
- Castro, J., Leverkus, A.B., Marañón-Jiménez, S., Serrano-Ortiz, P., Sánchez-Cañete, E.P., Reverter, R., Guzmán-Álvarez, J.R., Kowalsky, A.S. (2013). Efecto del manejo de la madera quemada sobre la restauración y regeneración postincendio: implicaciones para la gestión y para el conjunto del ecosistema. Libro de actas del IV Congreso Forestal Español. Vitoria-Gasteiz (España) 10-14 junio de 2013. pp: 2-16.

- Cerdà, A., Mataix-Solera, J. (2009). Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España: el estado de la cuestión visto por los científicos españoles. Cátedra de divulgación de la Ciencia, Universitat de Valencia.
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143: 1-10.
- Díez, J.A. (1982). Consideraciones sobre la utilización de la técnica extractiva de Burriel-Hernando para la evaluación de fósforo asimilable en suelos. *Anales de Edafología y Agrobiología* 41: 1345-1353.
- Fernández, I., Cabaneiro, A., Carballas T. (1997). Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating. *Soil Biology and Biochemistry* 29: 1–11.
- Fisher, R.F, Binkley, D. (2000). *Ecology and management of forest soils*, 3rd edn. Wiley, New York.
- Freedman, B., Morash, R. & Hanson, A.J. 1981. Biomass and nutrient removals by conventional and whole-tree clear-cutting of a red spruce balsam fir stand in Central Nova-Scotia. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*. 11: 2: 249-257.
- Giovannini G., Lucchesi S., Giachetti M. (1988). Effects of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Science* 146: 255–261.
- García-Orenes, F., Guerrero, C., Roldán, J., Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Campoy, M., Zornoza, R., Bárcenas, F., Caravaca, F. (2010). Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. *Soil Tillage and Research*. 109, 110-115.
- García-Orenes, F., Roldán, A., Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Campoy, M., Arcenegui, V., Caravaca, F. (2012). Soil structural stability and erosion rates influenced by agricultural management practices in a semi-arid Mediterranean agro-ecosystem. *Soil Use and Management* 28: 571-579.

- García-Orenes, F., Arcenegui, V., Chrenková, K., Mataix-Solera, J., Moltó, J., Jara-Navarro, A.B., Torres, M.P. (2017). Effects of salvage logging on soil properties and vegetation recovery in a fire-affected Mediterranean forest: A two years monitoring research. *Science of the Total Environment* 586, 1057-1065.
- Jara-Navarro, A.B. (2015). Estudio del Impacto del Fuego y Manejo Post-Incendio sobre la Cubierta Vegetal en Serelles, Sierra de Mariola. Trabajo fin de Grado (Ciencias Ambientales). Universidad Miguel Hernández.
- Jenkinsn, D.S., Powlson, D.S. (1976). The effects of biocidal treatments on metabolism in soil— V: A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 8: 209-213.
- Jiménez-Pinilla, P., Mataix-Solera, J., Arcenegui, V., Delgado, R., Martín-García, J.M., Lozano, E., Martínez-Zavala, L., Jordán, A. (2016). Advances in the knowledge of how heating can affect aggregate stability in Mediterranean soils: a XDR and SEM-EDX approach. *Catena* 147: 315-324.
- Joergensen, R.G., Anderson, T.H., Wolters, V. (1995). Carbon and nitrogen relationships in the microbial biomass of soils in beech *Fagus sylvatica* L. forest. *Biology and Fertility of Soils* 19, 141-147.
- Llovet, J., Josa, R., Vallejo, V.R. (2008). Thermal shock and rain effects on soil surface characteristics: A laboratory approach. *Catena* 74, 3: 227-234.
- López-Caravaca A. (2017). Evaluación y evolución de las propiedades del suelo por el efecto de la saca de madera en un bosque mediterráneo tras sufrir un incendio. Trabajo de fin de grado (Ciencias Ambientales), Universidad Miguel Hernández.
- López-Serrano, F.R., de las Heras, J., González-Ochoa A.I., García-Morote, F.A. (2005). Effects of silvicultural treatments and seasonal patterns on foliar nutrients in young post-fire *Pinus halepensis* forest stands. *Forest Ecology and Management*, 210: 321-336.
- Martínez-Sánchez, J.J., Ferrándis, P., de las Heras, J., Herránz, J.M. (1999). Effect of burnt wood removal on the natural regeneration of *Pinus halepensis* after fire in a pine forest in Tus valley (SE Spain). *Forest Ecology and Management* 123: 1–10.
- Mataix-Solera, J., Gómez, I., Navarro-Pedreño, J., Guerrero, C., Moral, R. (2002). Soil organic matter and aggregates affected by wildfire in a *Pinus halepensis* forest in a Mediterranean environment. *International Journal of Wildland Fire* 11: 107-114.

- Mataix-Solera, J. y Guerrero, C. 2007. Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. En: Mataix-Solera, J. (ed.), Incendios Forestales, Suelos y Erosión Hídrica. Caja Mediterráneo CEMACAM Font Roja-Alcoi, Alicante, pp: 5-40.
- Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Arcenegui, V., Jordán, A., Zavala, L.M. (2011). Fire effects on soil aggregation: A review. *Earth-Science Reviews* 109: 44-60.
- Merino, A., Rey, C., Brañas, J., Soalleiro, R.R. (2003). Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Investigación agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 12: 85-98.
- Naveh, Z. (1975). The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region. *Vegetation*, 29: 199 – 208.
- Nelson, D.V., Sommers, L.E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Biological Methods*. American Society of Agronomy and Soil Science of America, Madison, WI: 539-579.
- 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* 619-620: 1079-1087.
- Raubuch, M., Beese, F. (1998). Interaction between microbial biomass and activity and the soil chemical conditions and the processes of acid load in coniferous forest soils. *Z. Pflanz Bodenkunde* 161: 59-65.
- Real Academia Española (2018). *Diccionario de la lengua española*.
- 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 Biology and Biochemistry* 26: 1699-1707.
- Serrasolsas, I., Khanna, P.K. (1995). Changes in heated and autoclaved forest soils of S.E. Australia. II. Phosphorus and phosphatase activity. *Biogeochemistry* 29 (1): 25-41.
- Sharpley, A. (2000). Phosphorous availability. In: Sumner ME (ed) *Handbook of soil science*. CRC, Boca Raton, Fla., pp D18-D38.
- Soil Survey Staff (2014). *Keys to Soil Taxonomy*, twelfth ed. USDA-Natural Resources Convation Service, Washington, DC.
- Vance, E.D., Brookes, P.C., Jenkinson, D.S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19: 703-707.

- Vihnanek, R.E., Ballard, T.M. (1988). Slashburning effects on stocking, growth, and nutrition of young Douglas-fir plantations in salaldominated ecosystems of eastern Vancouver Island. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 718–722.
- Wrangham, R.W., Jones, J.H., Laden, G., Pilbeam, D., Conklin-Brittain, N.L. (1999). The raw and the stolen: cooking and the ecology of human origins. *Current Anthropology* 40: 567–594.
- 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: 334-341.

