



Universidad de
Oviedo



TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL

Mención en Explotaciones Forestales

Estudio de las diferentes fracciones del carbono en suelos afectados por incendios forestales en función de la ocurrencia de eventos

Autor: Adrián Díaz Fernández

Tutor: Rubén Forján Castro

Cotutora: Lorena Salgado Fernández

Noviembre, 2023



Universidad de
Oviedo



Declaración de Originalidad del Trabajo Fin de Grado

D./Dña. Adrián Díaz Fernández, con DNI: estudiante del Grado en Ingeniería Forestal y del Medio Natural de la Escuela Politécnica de Mieres de la Universidad de Oviedo, declaro bajo mi responsabilidad que:

El Trabajo de Fin de Grado aquí presentado con título; “Estudio de las diferentes fracciones del carbono en suelos afectados por incendios forestales en función de la ocurrencia de eventos”, ha sido realizado bajo mi autoría, es original y que todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.

Para que así conste, firmo la presente declaración.

En Mieres, a 22 de noviembre de 2023.

Adrián Díaz Fernández

71752406L



Relación del TFG con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

ODS con los que se relaciona el TFG (suprimir los que no proceda):



Breve justificación:

El aumento de la frecuencia e intensidad de los incendios forestales en los últimos años es motivo de preocupación. Esto es debido, no solo a las afecciones producidas a los ecosistemas particularmente, sino también, a escala mundial, con la contribución a la emisión de gases de efecto invernadero y el calentamiento global.

Para mitigar las consecuencias producidas por los incendios forestales y conocer sus impactos a largo plazo, es necesario conocer los efectos que producen sobre el suelo. En concreto, sobre la materia orgánica y uno de sus principales componentes, el carbono, dado que el suelo, es uno de los mayores reservorios de carbono del mundo.

Con esta investigación, se busca la identificación de posibles estrategias de recuperación y reducción de los impactos producidos por los incendios forestales a los ecosistemas terrestres, con una visión más amplia relacionada con el cambio climático.



Resumen:

El aumento de la recurrencia de los incendios forestales en el Principado de Asturias se ha convertido definitivamente en un problema de primer nivel tanto medioambiental como socialmente. Este aumento en la recurrencia de incendios forestales, siendo en su mayoría de origen antropogénico, se ven agravados por la situación actual de abandono del medio rural, así como, por el cambio de usos del suelo.

Este evento catastrófico produce efectos negativos sobre los ecosistemas terrestres, produciendo también, grandes afecciones económicas e incluso humanas. Además de los efectos citados anteriormente, los incendios forestales tienen un gran efecto sobre el suelo. Este, verá modificadas sus funciones y sus propiedades fisicoquímicas, obteniendo como resultado una transformación en los componentes que lo forman, lo que conlleva una reducción en sus capacidades de regeneración y fertilidad.

Una de las modificaciones producidas por los incendios a los suelos afecta directamente a uno de los constituyentes más importantes de este, la materia orgánica (M.O.), y a uno de sus principales componentes, el carbono. El carbono de la M.O está compuesto por distintas fracciones, las cuales se distribuyen desde las más lábiles hasta las más recalcitrantes, aumentando su estabilidad en el suelo.

Dada la importancia de este elemento, ya no sólo a nivel de ecosistema, sino a escala global, siendo el suelo uno de los principales reservorios de carbono del mundo, el presente trabajo pretende analizar los efectos que produce la recurrencia de incendios sobre el carbono orgánico, y las diferentes fracciones que lo componen.

Para ello, este estudio se realizó un estudio en varias parcelas afectadas por diferentes recurrencias de incendios forestales entre los años 2005 y 2022.

Palabras clave: incendios forestales, suelo, materia orgánica, carbono orgánico, fracciones del carbono orgánico.



Abstract:

The increase in the recurrence of forest fires in the Principality of Asturias has definitely become a major environmental and social problem. This increase in the recurrence of forest fires, most of which are of anthropogenic origin, is aggravated by the current situation of abandonment of the rural environment, as well as by the change in land use.

This catastrophic event produces negative effects on terrestrial ecosystems, also producing great economic and even human effects. In addition to the effects mentioned above, forest fires have a great effect on the soil. The soil's functions and physico-chemical properties are modified, resulting in a transformation of its constituent components, which leads to a reduction in its regeneration and fertility capacity.

One of the modifications produced by fires to soils directly affects one of the most important constituents of the soil, organic matter (OM), and one of its main components, carbon. O.M. carbon is composed of different fractions, which are distributed from the most labile to the most recalcitrant, increasing its stability in the soil.

Given the importance of this element, not only at the ecosystem level, but also on a global scale, with soil being one of the main carbon reservoirs in the world, this study aims to analyse the effects of recurrent fires on organic carbon, and the different fractions of which it is composed.

For this purpose, a study was carried out on several plots affected by different recurrences of forest fires between 2005 and 2022.

Key words: forest fires, soil, organic matter, organic carbon, organic carbon fractions.



Índice:

| | |
|--|----|
| 1. Introducción..... | 15 |
| 2. Material y métodos..... | 17 |
| 2.1. Zona de estudio..... | 17 |
| 2.2. Diseño de muestreo..... | 19 |
| 2.3. Análisis biogeoquímicos..... | 22 |
| 2.3.1. Fraccionamiento del carbono orgánico total (TOC)..... | 22 |
| 3. Resultados..... | 31 |
| 3.1. Fracción lábil..... | 31 |
| 3.2. Fracción estable o extraíble..... | 32 |
| 3.3. Fracción recalcitrante..... | 33 |
| 3.4. Carbono orgánico total..... | 34 |
| 4. Conclusión..... | 35 |
| 5. Referencias..... | 36 |



Índice de figuras:

| | |
|--|----|
| Figura 1: Incendios forestales que afectaron a pola de allande | 15 |
| Figura 2: Número de incendios forestales por año en Pola de Allande (fuente: SADEI) | 16 |
| Figura 3: Hectáreas (ha) quemadas por año en Pola de Allande (Fuente: SADEI)..... | 17 |
| Figura 4: Mapa con la situación de las parcelas de estudio..... | 19 |
| Figura 5: Vista específica y general de las parcelas de estudio..... | 21 |
| Figura 6: Puntos de muestreo realizados en cada parcela | 22 |
| Figura 7: Esquema de las fracciones del carbono orgánico..... | 23 |
| Figura 8: Centrifugadora y tubos de centrifugado..... | 24 |
| Figura 9: Filtrado de muestras y almacenado en tubos tipo Falcon | 25 |
| Figura 10: Proceso de filtrado y el resultado final con el sobrenadante de una muestra en el tubo de centrifugado | 26 |
| Figura 11: Preparación de la mezcla de las muestras con la sosa cáustica..... | 27 |
| Figura 12: Mezcla de la muestra con H ₂ SO ₄ en tubos tipo Falcon | 28 |
| Figura 13: Equipo Toc (TMN-1, Shimadzu)..... | 29 |
| Figura 14: Contenido de carbono lábil por parcela | 31 |
| Figura 15: Contenido de la extracción de carbono en agua caliente | 32 |
| Figura 16: contenido en carbono estable por parcela. | 33 |
| Figura 17: Contenido en carbono recalcitrante por parcela..... | 34 |
| Figura 18: Contenido de TOC medio por parcela | 35 |



Universidad de
Oviedo



Índice de tablas:

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Recurrencia de incendios en cada una de las parcelas | 20 |
|---|----|



Universidad de
Oviedo



MEMORIA



1. Introducción:

Los incendios forestales son uno de los eventos catastróficos que ocurren con mayor frecuencia en el Principado de Asturias, afectando a la conservación ecológica, la biodiversidad y los ecosistemas (Salgado, 2016).

En las últimas décadas se ha producido un aumento de la intensidad y la superficie afectada por incendios forestales (Úbeda et al., 2021). La principal causa de estos incendios tiene que ver con un origen antropogénico (Olmo et al., 2011), los cuáles se ven agravados, por el abandono del medio rural y el cambio de los usos del suelo, afectando directamente a la distribución temporal de los eventos y tipo de coberturas afectadas (Nogueira & Rico, 2017). Además de estos dos factores, se debe tener en cuenta el cambio climático, que, de forma directa o indirecta, favorece esta evolución (García et al., 2023).

En lo que a distribución temporal se refiere, en Asturias, podemos encontrar incendios forestales durante todo el año, pero, existen dos períodos, en los que el número de incendios forestales aumenta considerablemente. El primero, entre finales de invierno y principios de la primavera (febrero-abril), y el segundo período, durante los meses de verano y principios de otoño (julio-octubre) (Gayo, 2019).

Los incendios forestales además de afectar a fauna, flora y causar pérdidas materiales e incluso humanas, tienen una gran afección sobre el suelo. Una de las principales afecciones al suelo por los incendios forestales recae sobre la materia orgánica (M.O.), siendo uno de los constituyentes más importantes de un sistema edáfico, y uno de los más sensibles a los efectos del fuego (González, 2011). Entre los efectos más relevantes que produce el fuego están; cambios en los valores de pH, afectaciones biológicas, modificación de la estabilidad estructural, cambios en la porosidad y modificaciones en el conjunto de nutrientes del suelo (Cuesta et al., 2013).

Esto dependerá la severidad y intensidad del incendio, pudiendo producirse como resultado una pérdida total o parcial de la materia orgánica, o, una modificación de los componentes anteriormente comentados (Fernández, 1997).



La recurrencia de incendios forestales en una zona determinada también puede alterar la capacidad de intercambio catiónico, existiendo un aumento en la cantidad de cationes intercambiables. Además, se modifican los contenidos de carbono orgánico, nitrógeno y fósforo, los cuáles, con el paso del tiempo después de un incendio existen variaciones en su presencia, ya que se produce una transformación y volatilización de los nutrientes (Guido y Sangay, 2021).

Las fracciones de carbono orgánico se pueden clasificar de diferentes formas, una de ellas sería:

- **Carbono lábil:** Fracción de carbono que se encuentra con mayor disponibilidad para los microorganismos vivos del suelo. Esta fracción del carbono orgánico es la menos estable ya que se encuentra muy influenciada por las condiciones climáticas, el estado de la humedad del suelo, la adición de residuos orgánicos al suelo y las prácticas agro-culturales (Martín Bernad, 2019).
- **Carbono extraíble:** Fracción de carbono que se encuentra en una menor disponibilidad para los microorganismos. Son compuestos orgánicos con una mayor complejidad estructural, esto hace que sean más estables. Dentro de esta fracción se encuentran los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, cuyo papel principal, es favorecer la retención de nutrientes, y, favorecer una mejora en la estructura del suelo (Asensio et al., 2014).
- **Carbono recalcitrante:** Es la fracción de carbono más estable en el suelo, pero también la que tiene menor disponibilidad para los microorganismos. Por lo que la presencia de carbono recalcitrante no tiene gran efecto sobre la liberación de nutrientes, pero, tiene una gran influencia en el secuestro de carbono, en la capacidad de retención de agua y en las propiedades del suelo como filtro ambiental (Martín Bernad, 2019).

En este estudio, se analizará el carbono orgánico del suelo, y cómo se ve afectado por la recurrencia de incendios forestales. Para ello, se estudiarán las diferentes fracciones que lo componen, desde la fracción más lábil hasta la más recalcitrante. Se realizarán extracciones en agua fría para el carbono de mayor labilidad, y extracciones en agua caliente para el carbono de menor labilidad. Posteriormente, se hará el análisis de la



fracción de carbono extraíble, dónde se analizarán los ácidos fúlvicos y los ácidos húmicos, y, por último, se analizará en el residuo final el carbono orgánico recalcitrante.

2. Material y métodos:

2.1. Zona de estudio:

La zona de estudio se ubica en la zona suroccidental del Principado de Asturias, en el concejo de Pola de Allande, limítrofe con los concejos de Cangas del Narcea, Ibias, Tineo, Villayón, Illano, Pesoz y Grandas de Salime. Este concejo tiene una densidad poblacional de 5.09 habitantes/km², siendo las principales actividades económicas del concejo, la ganadería y la agricultura.

El concejo, cuenta con una superficie de 342.24 km², la cual se ha visto afectada desde el año 2005 hasta el año 2022, por 720 incendios forestales, que han quemado 17215.4 hectáreas de terreno forestal (Figura 1).

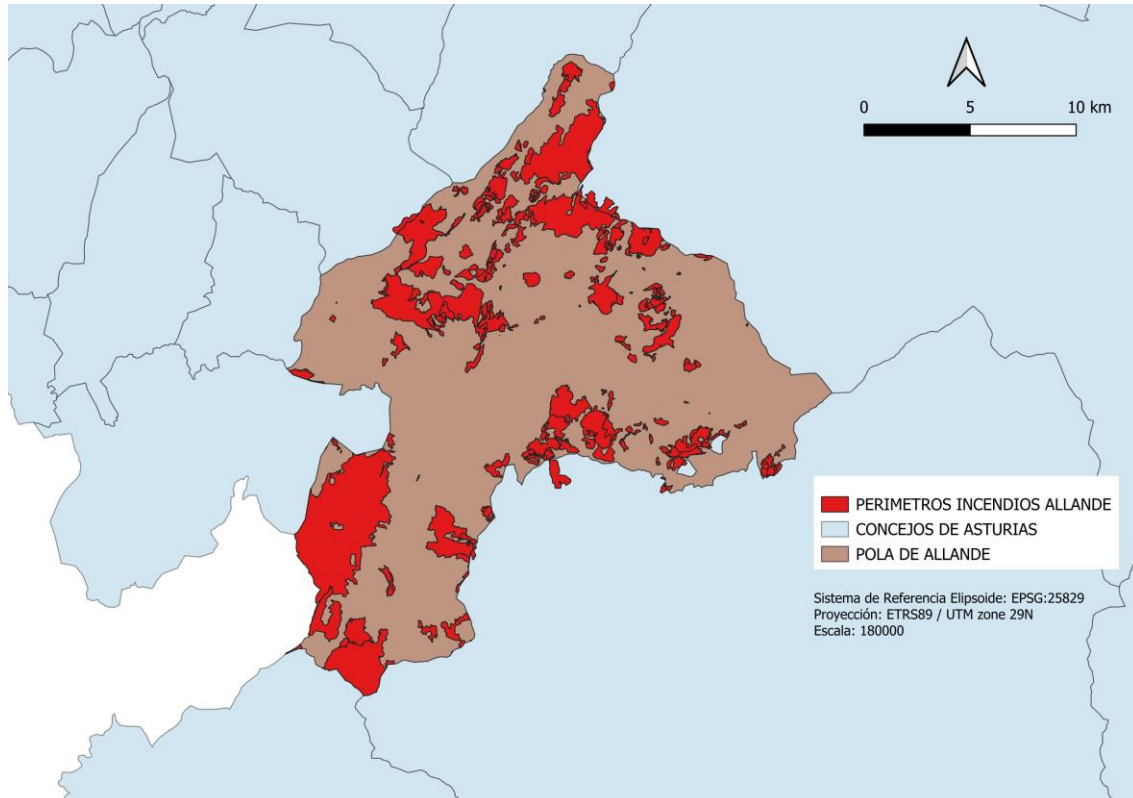


FIGURA 1: INCENDIOS FORESTALES QUE AFECTARON A POLA DE ALLANDE



Según el Plan de Protección civil de emergencia por incendios forestales del Principado de Asturias (INFOPA), Pola de Allande se considera uno de los concejos con mayor riesgo por incendio (Figura 2), debido a la gran inflamabilidad de los combustibles, existiendo una gran cantidad de monte bajo y matorral, lo que ayuda en la propagación del fuego, todo esto, sumado a un alto índice de causalidad, en su mayoría, incendios de origen antropogénico (Principado de Asturias, 2020).



FIGURA 2: NÚMERO DE INCENDIOS FORESTALES POR AÑO EN POLA DE ALLANDE (FUENTE: SADEI)

Uno de los factores que afecta en la severidad de estos, es la orografía del terreno, dado que una gran parte de estos incendios se producen en zonas de difícil acceso y zonas en las que abunda el matorral, el cuál es un rápido propagador del fuego, provoca cómo resultado una rápida propagación además de ser muy complicado extinguir estos incendios, lo que se traduce en grandes superficies arrasada por el fuego (Figura 3).

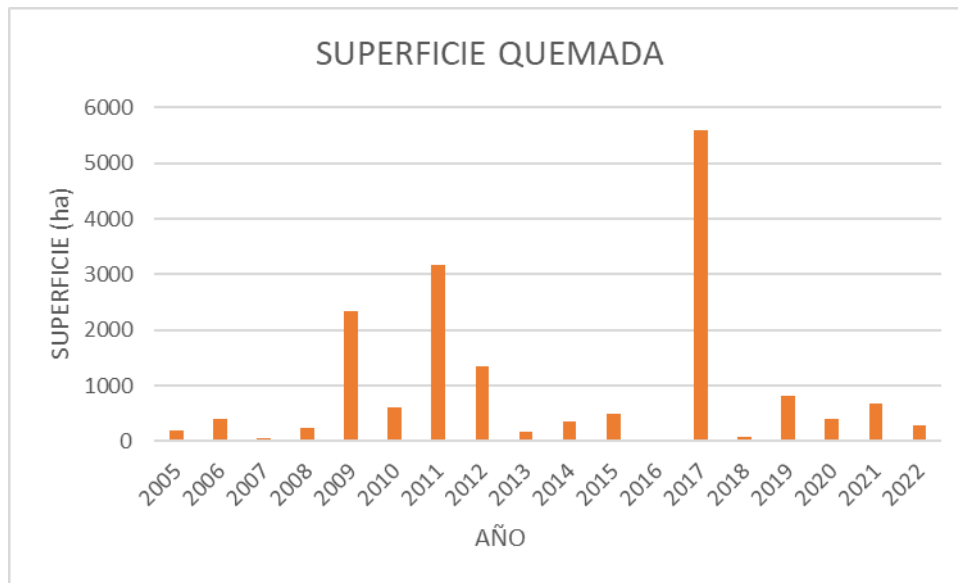


FIGURA 3: HECTÁREAS (HA) QUEMADAS POR AÑO EN POLA DE ALLANDE (FUENTE: SADEI)

A lo largo del historial de incendios forestales del concejo podemos encontrar que ha sufrido varios GIF (Gran Incendio Forestal), ocurriendo en dos períodos bien diferenciados, el primero durante los meses de septiembre y octubre, y, el segundo, en los meses de febrero a abril. La tendencia futura de los incendios forestales en este concejo es que existirá menor número de incendios, aunque estos, serán más severos, y afectarán a una mayor superficie (Principado de Asturias, 2020).

2.2. Diseño de muestreo:

Para realizar este estudio se seleccionaron 6 parcelas con diferentes recurrencias de incendios forestales entre 2005 y 2022, mismas condiciones meteorológicas y topográficas, que se distribuyen de acuerdo con la Figura 4.

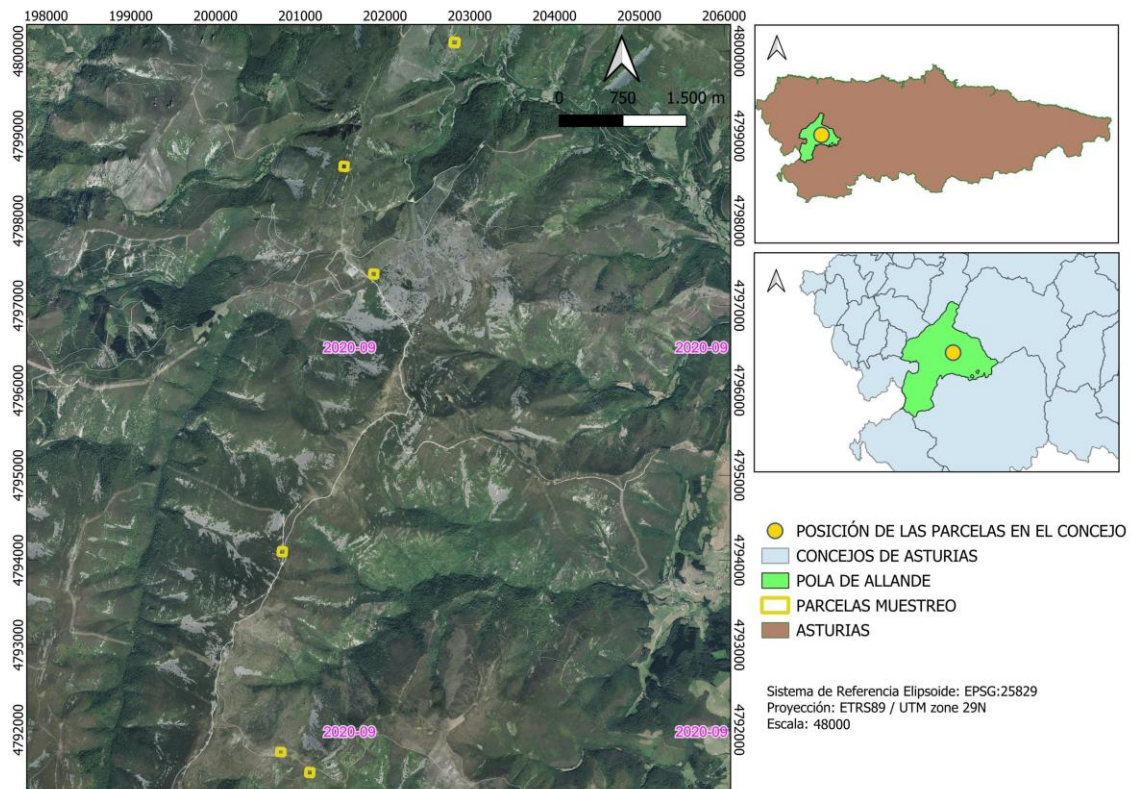


FIGURA 4: MAPA CON LA SITUACIÓN DE LAS PARCELAS DE ESTUDIO

Cada una de las parcelas que se muestrearon, hace referencia a una recurrencia de incendios forestales distinta entre 2005 y 2022 que va entre los 0 incendios, parcelas de control, y los 4 incendios (Tabla 1). La recurrencia de incendios se determinó en base a los datos publicados en el EPLIFA (Principado de Asturias, 2020), que contiene los datos de recurrencia entre 2005 y 2020 y complementados con datos Sentinel-2 por la Unidad de Ordenación del Territorio del INDUROT – Universidad de Oviedo.



Se incluyen dos parcelas con recurrencia 0, siendo P4 una parcela situada en las inmediaciones de un parque eólico, y por lo tanto pudiendo estar afectada por grandes movimientos de tierras.

TABLA 1: RECURRENCIA DE INCENDIOS EN CADA UNA DE LAS PARCELAS

| PARCELA | RECURRENCIA (2005-2022) |
|---------|-------------------------|
| 1 | 2 |
| 2 | 0 |
| 3 | 1 |
| 4 | 0 |
| 5 | 3 |
| 6 | 4 |

Cada una de las parcelas se caracteriza por ser rectangular (Figura 5), de forma que ocupen una superficie lo suficientemente grande para caracterizar el área.

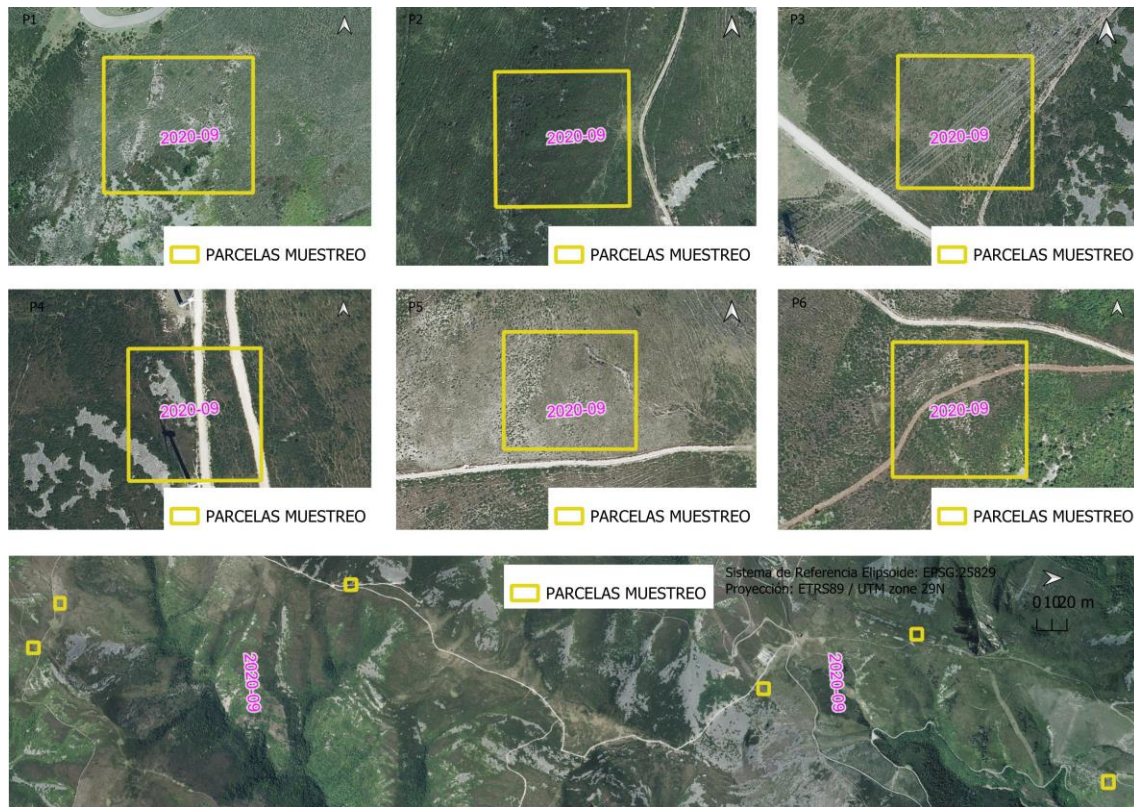


FIGURA 5: VISTA ESPECÍFICA Y GENERAL DE LAS PARCELAS DE ESTUDIO

En cada parcela se define una malla regular de doce vértices donde se ubica cada uno de los puntos de muestreo (Figura 6). Para la recogida de las muestras se utilizó la sonda Dutch Edelman, mediante la cual se tomaron las muestras compuestas por cuatro incrementos de los primeros 5 cm de suelo. Estas muestras fueron conservadas en bolsas de plástico esterilizadas y almacenadas a 4°C de temperatura, para su posterior tratamiento.

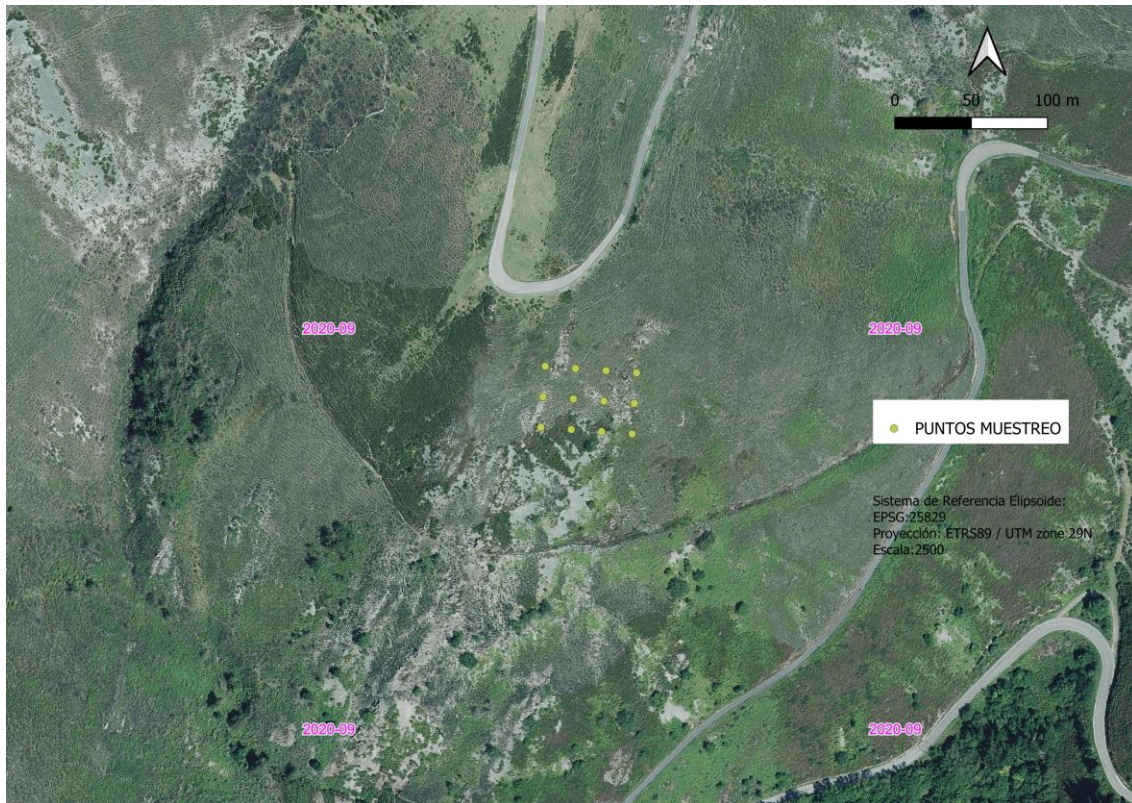


FIGURA 6: PUNTOS DE MUESTREO REALIZADOS EN CADA PARCELA

2.3. Análisis biogeoquímicos:

En primer lugar, las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente en el laboratorio. Una vez secas, estas fueron tamizadas utilizando una malla de 2 mm para eliminar las partículas mayores. Ya que se consideran suelo las partículas menos de 2 mm. Posteriormente, se tomó una muestra significativa del suelo de cada una de las muestras para realizar el fraccionamiento del carbono orgánico.

2.3.1. Fraccionamiento de carbono orgánico total:

El TOC se divide a su vez en varias fracciones, en función de su estabilidad y disponibilidad.

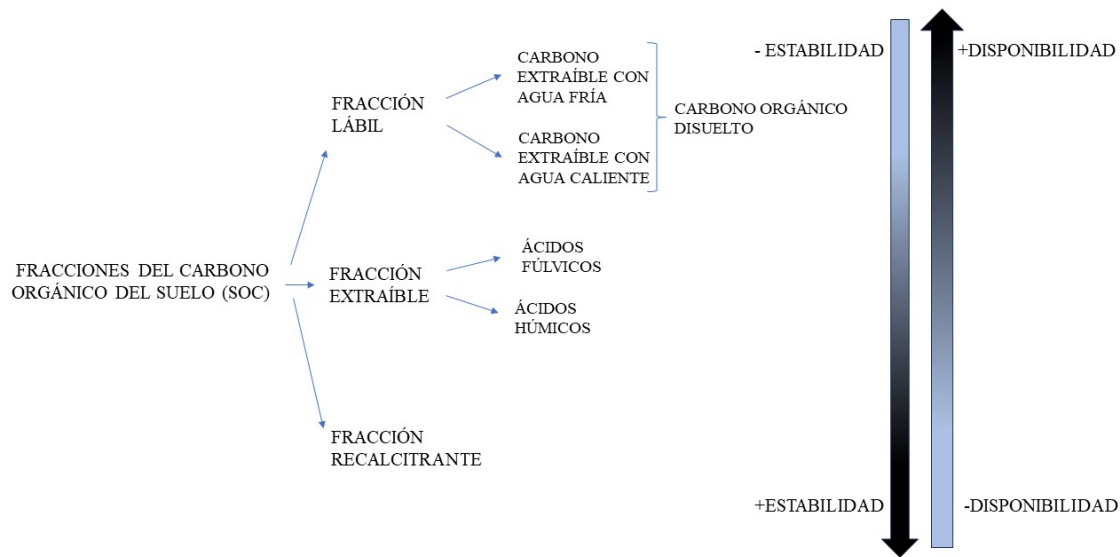


FIGURA 7: ESQUEMA DE LAS FRACCIONES DEL CARBONO ORGÁNICO

El proceso de fraccionamiento del carbono se muestra en la (Figura 7), diferenciando tres fracciones de carbono principalmente:

- Carbono lábil; siendo la fracción menos estable y la más disponible para los vegetales. Para hacer el fraccionamiento, se realizó una extracción en agua fría para la parte de la fracción más lábil, y, una extracción en agua caliente para la parte de la fracción menos lábil.
- Carbono estable o extraíble; el cual, se encuentra en un punto medio. Para analizar esta fracción, se hizo el análisis de los ácidos fúlvicos, y a continuación, el análisis de los ácidos húmicos.
- Carbono recalcitrante; siendo esta la fracción de carbono más estable y la más disponible para los vegetales. Esta fracción, fue la última en ser analizada, y para obtener los resultados de esta se aplicó una fórmula que se expondrá posteriormente.



A. Fracción lábil.

La primera fracción para extraer es la lábil. Para ello se realizan dos extracciones, la primera de ellas con agua fría, que proporciona el valor de la fracción más lábil de todas. La siguiente extracción, que se hace a partir del residuo de la extracción de agua fría, se realiza con agua caliente, obteniendo la fracción lábil más estable de carbono orgánico.

A continuación, se especifica el proceso de forma detallada:

- Extracción con agua fría: Se añadió agua destilada a la tierra tamizada en una proporción de 1/20 (P/V), se agitó durante 30 min a 20 °C y, a continuación, se centrifugó a 3000 rpm (20 min) (Figura 8).



FIGURA 8: CENTRIFUGADORA Y TUBOS DE CENTRIFUGADO

El sobrenadante se pasó por un filtro de membrana de nitrato de celulosa de 0.45 mm (Figura 9). El contenido de carbono orgánico del extracto se determinó en un analizador TOC (TNM-1, Shimadzu).



FIGURA 9: FILTRADO DE MUESTRAS Y ALMACENADO EN TUBOS TIPO FALCON

- Extracción con agua caliente: En los mismos tubos, se añadieron 100 ml de agua destilada al residuo del paso anterior, se agitó a 80 °C durante 16 h y, a continuación, se centrifugó a 3000 rpm (20 min). El sobrenadante se pasó por un filtro de membrana de nitrato de celulosa de 0.45 μ m (Figura 10). El contenido de carbono orgánico del extracto se determinó en el analizador TOC citado anteriormente.



FIGURA 10: PROCESO DE FILTRADO Y EL RESULTADO FINAL CON EL SOBRENADANTE DE UNA MUESTRA EN EL TUBO DE CENTRIFUGADO

B. Fracción extraíble:

Se parte del residuo de la fase de análisis de la fracción de carbono lábil. Para conocer el contenido de carbono de esta fracción se debe realizar en dos fases, en la primera se extraerá el carbono extraíble, en la segunda, se realizará la extracción y cálculo del contenido en ácidos fúlvicos y ácidos húmicos.

- Primera fase: Se extraerá el carbono extraíble de cada una de las muestras, añadiendo a los residuos de la fracción lábil, sosa cáustica (NaOH) 0.1 M en proporción 1/20 (P/V) (Figura 11), agitándose durante 4 horas.



FIGURA 11: PREPARACIÓN DE LA MEZCLA DE LAS MUESTRAS CON LA SOSA CÁUSTICA

Posteriormente, las muestras se centrifugaron a 3000 rpm durante 20 minutos. Una vez acabado el centrifugado, se procedió a filtrar el sobrenadante con una malla de fibra sintética de nitrato de celulosa de 0.45 mm. A continuación, con la ayuda del equipo TOC citado anteriormente, se analizó la mitad de la cantidad de este filtrado, dejando el resto para la siguiente fase de esta fracción.

- Segunda fase: esta consiste en el análisis de los ácidos fúlvicos y los ácidos húmicos. Para ello, a la mitad del residuo con sosa cáustica se le añade ácido sulfúrico (H_2SO_4) hasta pH 2 (Figura 12). A continuación, se reposar en la nevera durante 24 horas para conseguir la precipitación completa de los ácidos húmicos, los cuáles se separaron entonces del sobrenadante (ácidos fúlvicos) por centrifugación.

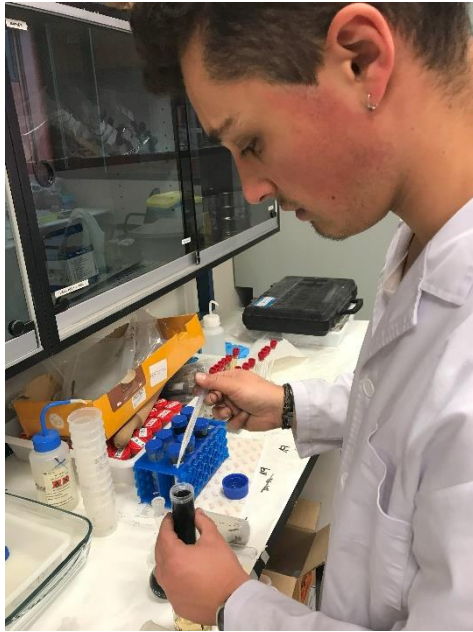


FIGURA 12: MEZCLA DE LA MUESTRA CON H_2SO_4 EN TUBOS TIPO FALCON

Para determinar el contenido en ácidos fúlvicos, se empleó el equipo TOC anteriormente descrito, mientras que, el contenido en ácidos húmicos se por diferencia entre el carbono extraíble y los ácidos fúlvicos.

C. Fracción recalcitrante:

Para el cálculo de fracción asociada al carbono recalcitrante, se secó al aire el residuo de la fracción extraíble y se midió el TOC usando el módulo de sólidos del equipo TOC (TNM-1, Shimadzu) (Figura 13).



FIGURA 13: EQUIPO TOC (TMN-1, SHIMADZU)

D. Carbono orgánico total:

Cómo se puede observar en la figura 7, el carbono orgánico total está formado por las tres fracciones de carbono anteriormente citadas y analizadas. Una vez obtenidos los resultados de cada una de estas fracciones, para calcular el contenido de TOC de una parcela, se hará la suma de los contenidos obtenidos en las tres fracciones de carbono.



3. Resultados:

3.1. Fracción lábil:

Los resultados obtenidos para la extracción con agua fría se muestran en la figura 15:

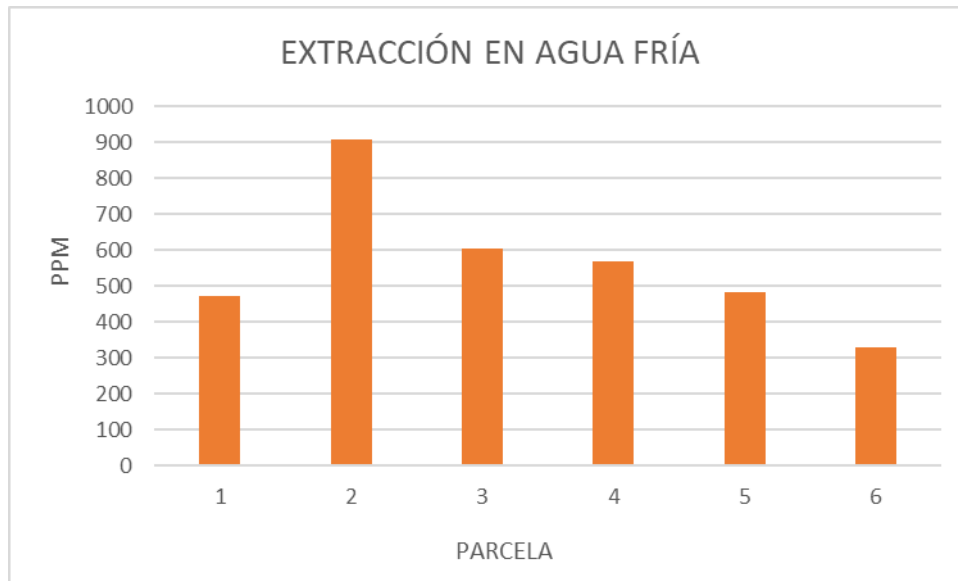


FIGURA 14: CONTENIDO DE CARBONO LÁBIL POR PARCELA

Se observó que la parcela 2 tiene el contenido más alto en carbono lábil, parcela que no ha sufrido incendios entre 2005 y el 2022 (Tabla 1). El contenido de carbono orgánico medio decrece (Figura 14) con el aumento de la recurrencia de incendios forestales (Tabla 1), encontrándose el contenido más bajo en la parcela 6 (Figura 14), la cual sufrió entre 2005 y 2022 (Tabla 1) 4 incendios forestales, el máximo del estudio.

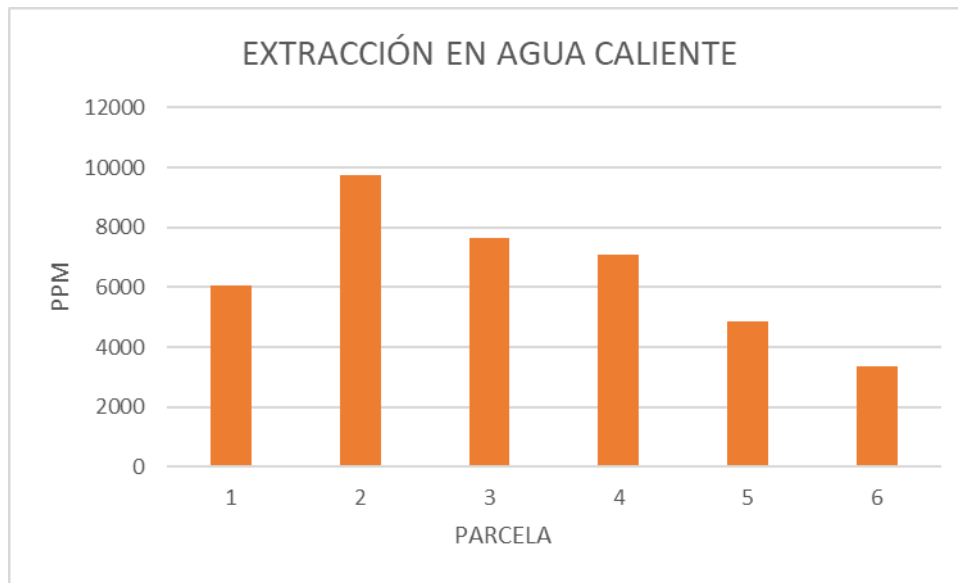


FIGURA 15: CONTENIDO DE LA EXTRACCIÓN DE CARBONO EN AGUA CALIENTE

Cómo se puede observar, la parcela 2 tiene el contenido más elevado en carbono lábil, parcela que no ha sufrido incendios entre 2005 y el 2022 (Tabla 1). El contenido de carbono orgánico medio decrece (Figura 15) con el aumento de la recurrencia (Tabla 1), encontrándose el contenido de carbono orgánico más bajo en la parcela 6 (Figura 15), la cual sufrió entre 2005 y 2022 (Tabla 1) 4 incendios forestales, el máximo del estudio.

3.2. Fracción estable o extraíble:

A la vista de la gráfica (Figura 16), se puede ver que la parcela 3 es la que mayor contenido en carbono estable presenta, la cuál va asociada a la ocurrencia de 1 incendio forestal entre 2005 y el 2022 (Tabla 1). La parcela 6 (Figura 17) es la que menor contenido en carbono estable tiene, la cual sufrió entre 2005 y 2022 (Tabla 1) 4 incendios forestales, el máximo del estudio.

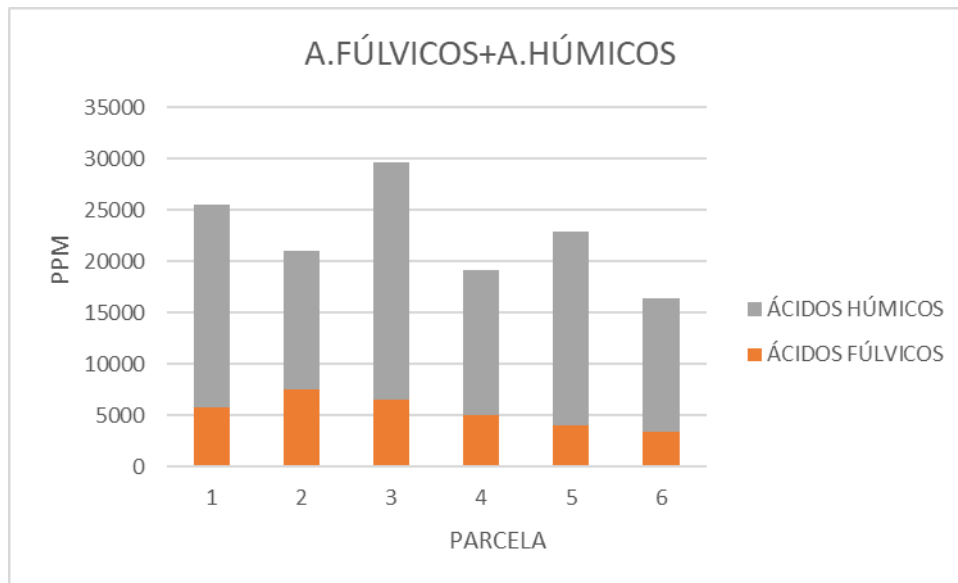


FIGURA 16: CONTENIDO EN CARBONO ESTABLE POR PARCELA.

3.3. Fracción recalcitrante:

En el análisis de esta fracción (Figura 17), se puede ver, cómo la parcela 2 tiene el mayor contenido en carbono recalcitrante (Figura 17), asociada a una ocurrencia de 0 incendios forestales entre los años 2005 y 2022 (Tabla 1). Las parcelas 3 y 5 presenta valores similares de contenido medio de carbono recalcitrante (Figura 17), parcelas que están asociadas a 1 y 3 incendios forestales entre los años 2005 y 2022 respectivamente (Tabla 1). El valor más bajo en contenido de carbono orgánico se encuentra en la parcela 6, asociada con la máxima recurrencia de incendios forestales entre 2005 y 2022 (Tabla 1).

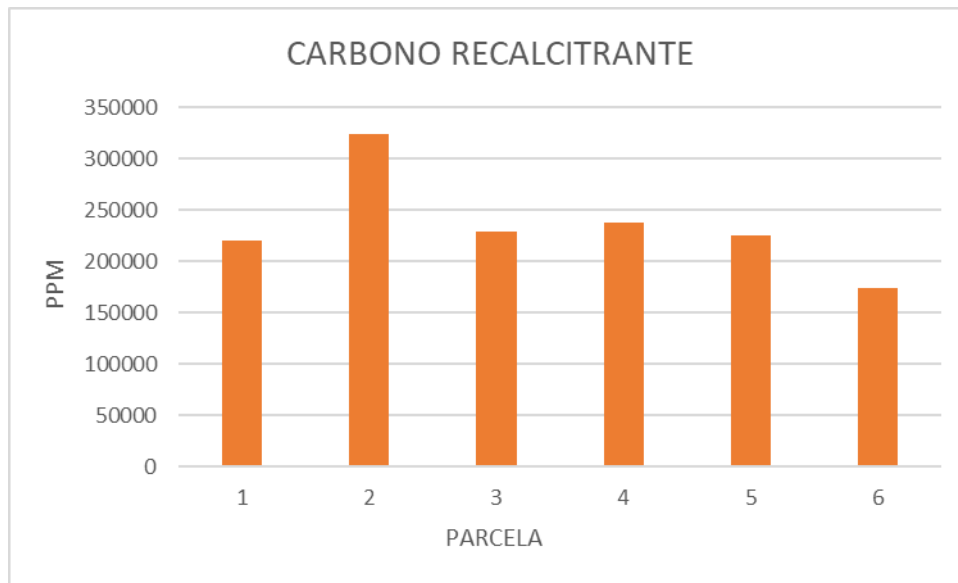


FIGURA 17: CONTENIDO EN CARBONO RECALCITRANTE POR PARCELA

3.4. Carbono orgánico total (TOC).

Los resultados de TOC muestran los valores máximos en la parcela 2 (Figura 18), asociada a una ocurrencia de 0 incendios forestales entre 2005 y 2022 (Tabla 1). La otra parcela que no ha sufrido incendios en el periodo de estudio, la parcela 4, presenta valores similares de TOC, que la parcela 3 (

), parcela asociada a un evento entre los años 2005 y 2022 (Tabla 1). El valor mínimo de TOC se encuentra en la parcela 6, asociada con la máxima recurrencia de incendios forestales entre 2005 y 2022 (Tabla 1). En general, se ve como los valores de TOC son inversamente proporcionales a la recurrencia de incendios, con excepción de la parcela 4 (Figura 18 y Tabla 1).

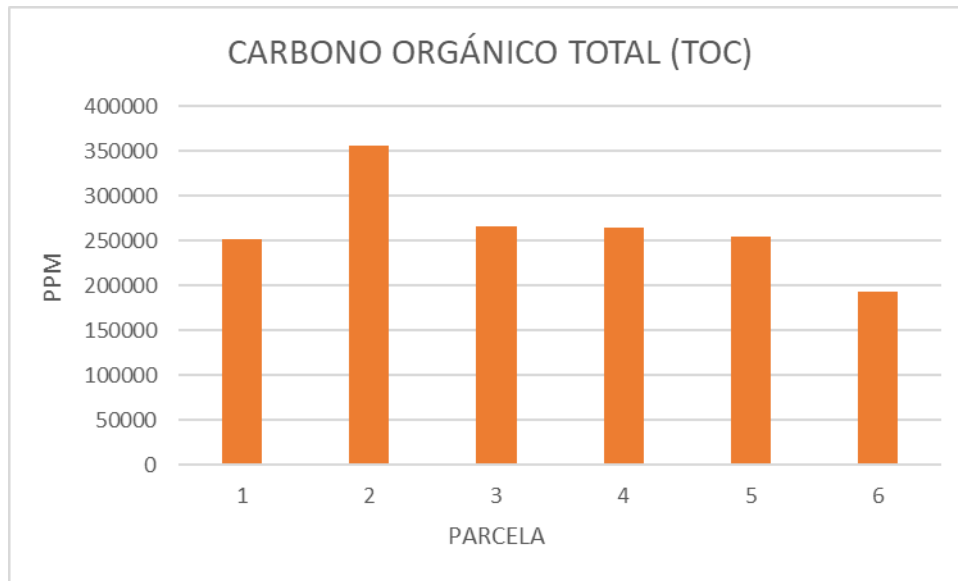


FIGURA 18: CONTENIDO DE TOC MEDIO POR PARCELA

4. Conclusión:

Cómo se ha podido comprobar, existe una relación directa entre el aumento de la recurrencia de incendios forestales y la reducción o pérdida del contenido TOC. Pero, si se observa más detenidamente las fracciones de carbono orgánico, se puede apreciar pequeños cambios en el contenido de cada una de ellas.

Respecto a la fracción de carbono lábil, existe una relación inversa, en la que a medida que aumenta la recurrencia de incendios forestal disminuye el contenido en carbono lábil en las parcelas.

En la fracción de carbono estable o extraíble, cuando la recurrencia es baja (1 o 2 incendios forestales), la fracción de carbono extraíble aumentó su contenido con respecto a las parcelas que no han sufrido ningún evento, mientras que, si la recurrencia es mayor, de 3 a 4 incendios forestales se observó una disminución del contenido de carbono extraíble.



En cuanto a la fracción de carbono recalcitrante sigue una relación inversa, es decir, a medida que aumenta la recurrencia, disminuye el contenido de carbono recalcitrante, especialmente cuando la recurrencia de incendios es alta (4 eventos).

Por lo que podemos concluir en primer lugar, que a medida que aumenta la recurrencia de incendios, se produce la reducción del TOC. Y, en segundo lugar, en cuanto a las fracciones de carbono, podemos ver, que, a baja recurrencia, en concreto de 1 incendio forestal, se verá mejorada la fracción de carbono estable especialmente. Si la recurrencia es entre 2 y 3 incendios forestales, se verá aumentado el contenido de la fracción recalcitrante especialmente, mientras que si tenemos una recurrencia alta, el máximo estudiado, no habrá un aumento significativo del contenido en ninguna fracción.

5. Referencias:

Almendros Martín, G., González Pérez, J. A., González Vila, F. J., & Rosa Arranz, J. M. (2021). El suelo y la importancia del humus.

Almendros, G., Polo, A., Ibáñez, JJ y Lobo, MC (1984). Contribución al estudio de la influencia de los incendios forestales en las características de la materia orgánica del suelo. *Rev. Ecológico. Biol. Sol* , 21 (1), 7-20.

Almendros, G., Polo, A., Lobo, M., & Ibáñez, J. (1984). Contribución al estudio de la influencia de los incendios forestales en las características de la materia orgánica del suelo II.–Transformaciones del humus por ignición. *Ecología del comportamiento y sociobiología* , 21 (2), 145-160.

Asensio, V., Vega, FA y Covelo, EF (2014). Efecto del proceso de recuperación del suelo sobre las fracciones de C del suelo. *Quimiosfera* , 95 , 511-518.

Bernad, H. M (2019). Cambios en la cantidad total y en fracciones del carbono orgánico del suelo causados por las quemadas prescritas de erizón (*Echinopartum horridum*) en pastos del Pirineo Central. Changes in the amount of total soil organic carbon and fractions caused by the prescribed burning of thorny cushion dwarf shrubs (*Echinopartum horridum*) in pasturelands of the Central Pyrenees.

Cuesta, J. R., & Giraldo, I. O. (2013). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. *Cuaderno activa*, 5, 59-67.

De Asturias, P. (2020). Estrategia integral de prevención y lucha contra los incendios forestales en Asturias 2020-2025.

Fernández, I. (1997). Influencia de los incendios forestales sobre la materia orgánica edáfica. CSIC-Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia (IIAG).



García, D., Suárez-Seoane, S., Jiménez-Alfaro, B., Álvarez, D., Álvarez-Álvarez, P., Álvarez-Martínez, J. M., ... & Santín, C. (2023). Renaturalización pasiva en la Cordillera Cantábrica: bases y retos científicos para una sostenibilidad socio-ecológica. *Ecosistemas*, 32(1), 2507-2507.

Gayo Peláez, A. (2019). Obtención de variables forestales mediante LiDAR para el cálculo de riesgo de incendios en el Principado de Asturias.

González Vázquez, R. (2011). Impacto de los incendios forestales en la materia orgánica de los suelos. La composición de la fracción lipídica como índice del grado de recuperación de suelos quemados.

Guido Correa, F. D. C., & Sangay Cabrera, F. D. M. (2021). Estudio de la estructura, materia orgánica y microfauna de suelos impactados por incendios forestales 2010–2020: una revisión de la literatura científica

Lessard, R., Gignac, L. D., & Rochette, P. H. I. L. I. P. P. E. (2006). El ciclo del carbono: Midiendo el flujo del CO₂ del suelo. *Recuperado de <https://greenteacher.com/article>*, 20.

Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96.

Nogueira, D. F., & Rico, E. C. (2017). Cambios en los usos de suelo en la Península Ibérica: Un meta-análisis para el período, 1985-2015. *Biblio3W Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*.

Olmo, J. M., Hernando, C., & Guzmán, M. G. (2011). El papel de la regeneración natural en la restauración tras grandes incendios forestales: el caso del pino negral. *Boletín Informativo CIDEU*, (10), 5-22.

Romanyà, J., Rovira, P., Vallejo, V. R., & Sanz, M. J. (2003). La materia orgánica en el suelo. *Trabajo presentado en el Seminario de gestión ambiental realizado en el Hotel Ciudad de Tarragona, Tarragona, España*.

Salgado Fernández, L. (2016). Valoración del riesgo por incendio forestal en el interfaz urbano-forestal.

Soto-Mora, E. S., Hernández-Vázquez, M., Luna-Zendejas, H. S., Ortiz-Ortiz, E., & García-Gallegos, E. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(5), 98-102.

Úbeda, X., Mataix-Solera, J., Francos, M., & Farguell, J. (2021). Grandes incendios forestales en España y alteraciones de su régimen en las últimas décadas. *Geografía, Riscos e Proteção Civil. Homenagem ao Professor doutor Luciano Lourenço*, 2.