



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Carrera

**“EFECTOS DE LOS CAMBIOS DEL USO DE LA TIERRA
SOBRE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO (MOS) Y
SUS FRACCIONES EN SUELOS DEL ALTOARAGÓN”.**

**“EFFECTS OF LAND USE CHANGE ON SOIL ORGANIC
MATTER (MOS) AND THEIR FRACTIONS IN
ALTOARAGON’S SOILS”.**

Autor:

Agostín Lois Valero Sancho.

Directora:

Dra. Clara Martí

Escuela Politécnica Superior

2017.

RESUMEN

La utilización de las diferentes fracciones de la Materia Orgánica del Suelo (MOS) puede servir como indicador de la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Con la finalidad de evaluar los efectos que supone el cambio de uso del suelo forestal al agrícola, se ha analizado el contenido de carbono orgánico de las diferentes fracciones de la MOS en cinco tipos de suelos característicos del Altoaragón en diferentes manejos. Las zonas estudiadas han sido: Fragen, La Hoya de Huesca, Somontano de Barbastro y Fraga, con los siguientes sistemas de cultivo: Pasto bajo no laboreo; cultivo extensivo en laboreo convencional y barbecho; viñedo mediante laboreo vertical; y monocultivo en extensivo en laboreo convencional, que se han comparado con el bosque alledaño. Se tomaron muestras a una profundidad de 15 cm, y se evaluaron: Carbono Orgánico Total (COT); Carbono Orgánico Particulado (COP); Carbono Orgánico Disuelto, tanto en agua fría (CODf) como en agua caliente (CODc); Carbono Orgánico oxidable (COox); y Carbono Orgánico Recalcitrante (COR). Tanto la materia orgánica, COT, como las fracciones lábil (COP, CODf y CODc) y estable (COox) se han mostrado más sensibles al cambio de uso, así como a la intensificación en las prácticas culturales. Por su parte, la fracción inerte (COR), se ha manifestado más influenciada por el tiempo en que se llevan trabajando que por la práctica cultural desarrollada.

ABSTRACT

The use of the Soil Organic Matter (SOM) fractions can be used as an indicator of agricultural systems sustainability. With the aim to assess the effects of land use changes, from forest floor to cropping, organic carbon content from different fractions of the SOM has been analyzed in five types of characteristic soils of the Altoaragón under different managements practices. The zones studied have been: Fragen, La Hoya de Huesca, Somontano de Barbastro and Fraga, with the following cultivation systems: No-tillage grass; extensive cultivation in conventional tillage and fallow; vineyard by vertical tillage; and extensive monoculture in conventional tillage, which have been compared with the surrounding forest. Soil samples were taken at a depth of 15 cm. Total Organic Carbon (TOC); Particulate Organic Carbon (POC); Dissolved Organic Carbon, as in cold water (DOCc) as in hot water (DOCh); oxidizable Organic carbon (oxOC); and Recalcitrant Organic Carbon (ROC) were analysed. Both the organic matter, TOC as labile (POC, DOCc and DOCh) and stable (oxOC) fractions have been more sensitive to the change in land use, as well as to the intensification of cultural practices. On the other hand, the inert fraction, (ROC), has been more influenced by the time they have been working for developed cultural practice.

Índice general

- 1. INTRODUCCIÓN, 1**
- 2. OBJETIVOS, 9**
- 3. MATERIAL Y MÉTODOS, 10**
 - 3.1 EL MEDIO FÍSICO, 10**
 - 3.1.1 FRAGEN, 12**
 - 3.1.1.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA, 12**
 - 3.1.1.2 CLIMATOLOGÍA y CLIMA EDÁFICO, 12**
 - 3.1.1.3 GEOLOGÍA, 13**
 - 3.1.1.4 GEOMORFOLOGÍA, 14**
 - 3.1.1.5 VEGETACIÓN, 14**
 - 3.1.2 HOYA DE HUESCA, 17**
 - 3.1.2.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA, 17**
 - 3.1.2.2 CLIMATOLOGÍA y CLIMA EDÁFICO, 17**
 - 3.1.2.3 GEOLOGÍA, 18**
 - 3.1.2.4 GEOMORFOLOGÍA, 19**
 - 3.1.2.5 VEGETACIÓN, 19**
 - 3.1.3 SOMONTANO DE BARBASTRO, 20**
 - 3.1.3.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA, 20**
 - 3.1.3.2 CLIMATOLOGÍA y CLIMA EDÁFICO, 20**
 - 3.1.3.3 GEOLOGÍA, 22**
 - 3.1.3.4 GEOMORFOLOGÍA, 22**
 - 3.1.3.5 VEGETACIÓN, 22**

3.1.4	FRAGA, 24
3.1.4.1	SITUACIÓN GEOGRÁFICA, 24
3.1.4.2	CLIMATOLOGÍA y CLIMA EDÁFICO, 24
3.1.4.3	GEOLOGÍA, 26
3.1.4.4	GEOMORFOLOGÍA, 26
3.1.4.5	VEGETACIÓN, 27
3.2	DISEÑO EXPERIMENTAL, 29
3.3	MUESTREO y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS, 30
3.4	DETERMINACIONES EN EL LABORATORIO, 31
3.4.1	MATERIA ORGÁNICA TOTAL (MOT), 31
3.4.2	MATERIA ORGÁNICA PARTICULADA (MOP), 32
3.4.3	CARBONO ORGÁNICO DISUELTO EN AGUA FRÍA Y EN AGUA CALIENTE (COD _f y COD _c), 34
3.4.4	CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE (MO _{ox}), 36
3.4.5	MATERIA ORGÁNICA RECALCITRANTE (MOR), 38
3.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO, 41
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN, 42
4.1	CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT) DEL SUELO, 42
4.2	CARBONO ORGÁNICO PARTICULADO (COP) DEL SUELO, 46
4.3	CARBONO ORGÁNICO DISUELTO EN AGUA FRÍA (COD _f) DEL SUELO, 50
4.4	CARBONO ORGÁNICO DISUELTO EN AGUA CALIENTE (COD _c) DEL SUELO, 54
4.5	CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE (CO _{ox}) DEL SUELO, 57
4.6	CARBONO ORGÁNICO RECALCITRANTE (COR) DEL SUELO, 60

**4.7 ANALISIS DE LA INFLUENCIA DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO
SOBRE LAS DIFERENTES FRACCIONES DE LA MATERIA
ORGANICA, 64**

5. CONCLUSIONES, 72

6. ANEJOS, 73

6.1 RESULTADOS OBTENIDOS, 73

6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES, 76

7. BIBLIOGRAFÍA, 96

ÍNDICE DE FIGURAS, I

ÍNDICE DE TABLAS, III

Índice de figuras

- Figura 1.** Mapa comarcal de Aragón, donde se indican las áreas de estudio, **11**
- Figura 2.** Diagrama ombrotérmico de Fragen, **13**
- Figura 3.** Diagrama ombrotérmico de la Comarca Hoya de Huesca, **18**
- Figura 4.** Diagrama ombrotérmico del Somontano de Barbastro, **21**
- Figura 5.** Diagrama ombrotérmico de Fraga, **25**
- Figura 6.** Crisoles de porcelana, **31**
- Figura 7.** Agitador rotador de tubos, **33**
- Figura 8.** Centrifugadora, **34**
- Figura 9.** Incubadora, **35**
- Figura 10.** Material utilizado para llevar a cabo la valoración, **37**
- Figura 11.** Vista del digestor, **38**
- Figura 12.** Material utilizado para realizar el lavado de la muestra, **39**
- Figura 13.** Diagrama resumen del procedimiento analítico, **40**
- Figura 14.** Contenidos de COT (g/kg de suelo) según lugar de muestreo y gestión del suelo. Donde: LV, es laboreo vertical; LC, es laboreo convencional; NL, es no laboreo, **44**
- Figura 15.** Contenidos de COP (g/kg de suelo) según lugar de muestreo y gestión del suelo. Donde: LV, es laboreo vertical; LC, es laboreo convencional; NL, es no laboreo, **47**
- Figura 16.** Contenidos de CODf (g/kg de suelo) según lugar de muestreo y gestión del suelo. Donde: LV, es laboreo vertical; LC, es laboreo convencional; NL, es no laboreo, **52**
- Figura 17.** Contenidos de CODc (g/kg de suelo) según lugar de muestreo y gestión del suelo. Donde: LV, es laboreo vertical; LC, es laboreo convencional; NL, es no laboreo, **55**

- Figura 18.** Contenidos de COox (g/kg de suelo) según lugar de muestreo y gestión del suelo. Donde: LV, es laboreo vertical; LC, es laboreo convencional; NL, es no laboreo, **58**
- Figura 19.** Contenidos de COR (g/kg de suelo) según lugar de muestreo y gestión del suelo. Donde: LV, es laboreo vertical; LC, es laboreo convencional; NL, es no laboreo, **61**
- Figura 20.** Valores medios del COT y sus fracciones en la zona de Fragen para cada tipo de suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el contenido de carbono de cada una de las fracciones según el uso del suelo, **64**
- Figura 21.** Valores medios del COT y sus fracciones en la zona de la Hoya de Huesca para cada tipo de suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el contenido de carbono de cada una de las fracciones según el uso del suelo, **65**
- Figura 22.** Valores medios del COT y sus fracciones en la zona de Somontano I para cada tipo de suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el contenido de carbono de cada una de las fracciones según el uso del suelo, **67**
- Figura 23.** Valores medios del COT y sus fracciones en la zona de Somontano II para cada tipo de suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el contenido de carbono de cada una de las fracciones según el uso del suelo, **68**
- Figura 24.** Valores medios del COT y sus fracciones en la zona de Fraga para cada tipo de suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el contenido de carbono de cada una de las fracciones según el uso del suelo, **70**

Índice de tablas

- Tabla 1.** Datos climatológicos de Fragen, **12**
- Tabla 2.** Datos climatológicos de la Comarca Hoya de Huesca, **17**
- Tabla 3.** Datos climatológicos del Somontano de Barbastro, **21**
- Tabla 4.** Datos climatológicos de Fraga,
- Tabla 5.** Valores medios y desviación estándar del COT (g/kg suelo) de acuerdo a su lugar de muestreo y uso del suelo. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre diferentes lugares de muestreo (Test LSD de Fisher, $p < 0,05$), **42**
- Tabla 6.** Valores medios y desviación estándar del COP (g/kg suelo) de acuerdo a su lugar de muestreo y uso del suelo. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre diferentes lugares de muestreo (Test LSD de Fisher, $p < 0,05$), **46**
- Tabla 7.** Valores de la relación COP/COT y el uso agrícola del suelo, **49**
- Tabla 8.** Valores medios y desviación estándar del CODf (g/kg suelo) de acuerdo a su lugar de muestreo y uso del suelo. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre diferentes lugares de muestreo (Test LSD de Fisher, $p < 0,05$), **50**
- Tabla 9.** Valores de la relación CODf/COT y el uso agrícola del suelo, **52**
- Tabla 10.** Valores medios y desviación estándar del CODc (g/kg suelo) de acuerdo a su lugar de muestreo y uso del suelo. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre diferentes lugares de muestreo (Test LSD de Fisher, $p < 0,05$), **54**
- Tabla 11.** Valores de la relación CODc/COT y el uso agrícola del suelo, **56**
- Tabla 12.** Valores medios y desviación estándar del COox (g/kg suelo) de acuerdo a su lugar de muestreo y uso del suelo. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre diferentes lugares de muestreo (Test LSD de Fisher, $p < 0,05$), **57**

- Tabla 13.** Valores de la relación COox/COT y el uso agrícola del suelo, **59**
- Tabla 14.** Valores medios y desviación estándar del COR (g/kg suelo) de acuerdo a su lugar de muestreo y uso del suelo. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre diferentes lugares de muestreo (Test LSD de Fisher, $p < 0,05$), **60**
- Tabla 15.** Valores de la relación COR/COT, uso agrícola del suelo y las fechas en que tuvo lugar el cambio de uso del suelo, **62**

1. INTRODUCCIÓN.

La Materia Orgánica del Suelo (MOS) comprende un amplio rango de sustancias carbonadas en un continuo estado de transformación. Incluyen carbohidratos, sustancias lipídicas, aminoácidos, proteínas, lignina, ceras, etc., así como las mezclas amorfas coloidales de sustancias orgánicas más complejas con un alto peso molecular, tales como ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas (Picone, 2006). Igualmente, engloba a la fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos (Aguilera, 2000).

La cantidad y tipo de MOS influyen en casi todas las propiedades que contribuyen a la calidad del suelo y ha sido señalado como un indicador importante de la fertilidad y productividad del mismo, debido a su papel crucial en las propiedades químicas, físicas y biológicas edáficas (Chen *et al.*, 2009). Entre sus principales efectos se puede mencionar: el fomento de la macro y microagregación, por lo que, influirá en la estructura y en la resistencia a la erosión tanto hídrica como eólica y en las relaciones agua/aire del suelo; actúa como fuente y sumidero de nutrientes; disminuye la disponibilidad de elementos tóxicos por su efecto quelatante y modifica la eficacia y destino de los pesticidas aplicados (Skjemstad, 2002; Watts *et al.*, 2006; Virto *et al.*, 2008).

En la actual tesitura del mundo moderno, lleno de una población indiferente y en expansión, se ha vuelto imperativo estudiar cómo el ser humano impacta en el mundo con la esperanza de entender cómo podemos mitigar la tensión a la que estamos sometiendo al planeta. El CO₂ es sólo una de las muchas variables críticas bajo escrutinio dado su aumento exponencial en la atmósfera en los últimos dos siglos (Reay y Pidwirny, 2011). El aumento de la concentración de CO₂ es preocupante debido a la grave amenaza que representa para el clima global y el pH del océano, siendo las actividades antropogénicas las que han superado fácilmente el delicado equilibrio que existe para mantener la concentración atmosférica de CO₂ en niveles inocuos.

Una forma de controlar y poder reducir la emisión de gases de efecto invernadero es a través del secuestro del carbono terrestre (Yadav *et al.*, 2009). Las plantas toman el CO₂ de la atmósfera, lo asimilan a través de la fotosíntesis y a medida que éstas mueren o son cosechadas, sus restos, las hojas, tallos y raíces a base de carbono se descomponen en el suelo y éste pasa a convertirse en carbono orgánico del suelo. El carbono orgánico del suelo constituye más del doble del carbono almacenado que el de la vegetación

terrestre y la atmósfera juntas (Batjes, 1996; Houghton, 2005; USEPA, 2011). Se estima que el carbono orgánico del suelo es de aproximadamente 1500 Gt a nivel mundial (Batjes, 1996; Houghton, 2005; Wilson *et al.*, 2011). Otras fuentes consideran que los suelos contienen aproximadamente 2344 Gt del carbono orgánico y a menudo se los considera como el segundo grupo contenedor de carbono orgánico más grande después del océano (Stockmann *et al.*, 2013).

El carbono orgánico del suelo se ve fuertemente afectado por la actividad humana y su empobrecimiento puede atribuirse al cambio de uso de la tierra, la perturbación del suelo y el aumento de la actividad agrícola. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. (2011), las tasas de captura de carbono varían según las especies vegetales, el tipo de suelo, el clima, la topografía y las prácticas de manejo. Una de las prácticas agrícolas que más contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero es el laboreo, ya que se incrementa la mineralización de la materia orgánica y disminuye el contenido de carbono orgánico y de nutrientes. A su vez se produce una reducción de la estabilidad estructural que aumenta la pérdida de las fracciones inorgánicas por erosión (Urioste *et al.*, 2006). Dado que el contenido de carbono en el suelo depende de las tasas de entrada y descomposición de la materia orgánica, las prácticas de manejo de los rastrojos pueden afectar potencialmente a las tasas de secuestro de carbono edáfico, así se ha observado que el retorno del rastrojo aumenta carbono orgánico del suelo en comparación con la eliminación de mismo (Mann *et al.*, 2002; Paul *et al.*, 1997; Laird y Chang, 2013; Tan *et al.*, 2012). En la misma vía, la eliminación excesiva de los residuos del cultivo intensificará la erosión del suelo, degradará su calidad y reducirá la fracción de carbono orgánico edáfico (Khanal *et al.*, 2014).

Lal y Follett (2009) estimaron que las presiones antrópicas han causado la pérdida de entre 42 a 78 Gt del contenido de carbono original del suelo. No obstante, la introducción de prácticas más juiciosas en la gestión de tierras podría tener la capacidad de aumentar el almacenamiento edáfico de carbono orgánico en 0,4-1,2 Gt/año adicionales (Wilson *et al.*, 2011; Lal, 2004). Esta capacidad adicional de almacenamiento de carbono orgánico representa una clara posibilidad de que los suelos, a nivel mundial, puedan compensar considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero, sobretodo, el CO₂ (Wilson *et al.*, 2011; Ogle *et al.*, 2003; Chan *et al.*, 2011).

La MOS es una mezcla heterogénea de material orgánico en diferentes estados de transformación en el que no existen límites definidos para la diferenciación de sus componentes; sin embargo, es importante fijarlos desde el punto de vista funcional y conceptual (Galantini y Suñer, 2008). Además, una separación útil debería permitir aislar fracciones de la materia orgánica de forma tal que tengan un significado práctico diferente, que sean sensibles para detectar efectos de corto plazo de los diferentes sistemas de producción y que aporten información relevante sobre el ciclado y la disponibilidad de nutrientes. El fraccionamiento ideal debería permitir de manera simple la extracción completa de un determinado material orgánico en todos los suelos, sin alteraciones ni contaminantes. En la práctica esto no se ha logrado y difícilmente se logre en corto plazo (Galantini y Suñer, 2008).

La MOS puede fraccionarse dependiendo de la distinta disponibilidad en que ésta se encuentre para los microorganismos. Strosser (2010), por ejemplo, las clasificó como la fracción lábil, la fracción estable y la fracción inerte.

$$COT_i = CO_l e^{-k_l t} + CO_{es} e^{-k_{es} t} + CO_r e^{-k_r t}$$

Donde COT_i es el Carbono Orgánico Total del suelo liberado como CO_2 en un tiempo t ; “l” = fracción lábil; “es” = fracción estable; “r” = fracción recalcitrante; k = la constante de velocidad de descomposición ($1/TRM$), y t = tiempo.

De los tres compartimentos, citados arriba, se distinguen de acuerdo a los modelos de dinámica del C: a) el C lábil, tiene un tiempo de residencia medio (TRM) de algunos días o algunos años; b) el C estable, presenta un TRM de algunos decenios; y c) el C inerte, su TRM puede alcanzar algunos siglos a millares de años (Parton *et al.*, 1987). De este modo, es posible definir varias divisiones discretas con una relación inversa entre su tamaño y su velocidad de descomposición, donde las fracciones más abundantes se descomponen más lentamente (Eldor *et al.*, 2006). La disponibilidad para los microorganismos de cada una de estas divisiones dependerá de su composición química, relación C/N, estado de degradación y ubicación dentro de la matriz del suelo (Sollins *et al.*, 1999, Balesdent *et al.*, 2000). El conocimiento y la predicción del tiempo de renovación de la MOS es esencial para prever la evolución de las reservas y los flujos de C y N y de las funciones ambientales de los suelos.

Existen dos formas, predominantemente usadas a nivel de laboratorio, para separar la MOS: una separación química y una dispersión física. Mediante la separación química de la MOS se busca la disgregación de las sustancias húmicas y de las que no lo son. La

mayor parte de las sustancias húmicas se encuentran unidas de distintas formas a la fracción mineral y sólo una pequeña parte queda libre, por tanto, se hace necesaria una solubilización para destruir esta unión (Lorenzo *et al.*, 2011). La dispersión física suele usarse para recuperar la fracción ligera y los productos parcialmente descompuestos, lo que permitiría establecer el papel de los materiales orgánicos en diferentes procesos y el significado biológico y ambiental de la MOS en complejos organo-minerales.

La fracción lábil o de fácil descomposición de la MOS es el principal suministro de alimento para varios organismos vivos del suelo. Esta fracción, muy activa, está fuertemente influenciada por las condiciones climáticas, el estado de humedad del suelo, la etapa de desarrollo de la vegetación, la adición de residuos orgánicos y las prácticas culturales como el laboreo (FAO, 2003). Diversos estudios establecen que la fracción lábil se ve favorecida en climas fríos y secos, en suelos cuyo pH es bajo, y donde exista una vegetación continua con alto reciclaje de material vegetal (bosques y praderas) (Cambardella y Elliott, 1992; Christensen, 1992; Janzen *et al.*, 1992; Gregorich *et al.*, 1996). La fracción lábil, a su vez, de acuerdo con Schiedung, *et al.* 2017, puede subdividirse en la Materia Orgánica Particulada (MOP) y el Carbono Orgánico Disuelto (COD).

La Materia Orgánica Particulada (MOP) comprende sólo una pequeña proporción de la MOS total, pero está ampliamente aceptado que esta fracción es una llave para conocer el funcionamiento del suelo (McGill *et al.*, 1986; Qualls y Haines, 1991; Kaiser, 2001). Así, la MOP es la fracción se encuentra formada por fragmentos de raicillas, hifas de hongos, restos vegetales de tamaño entre 0,053-2 mm y microorganismos, que se encuentran incorporados en forma poco estable al complejo organo-mineral del suelo mediante enlaces predominantemente físicos, los cuales pueden romperse con relativa facilidad. Por ello, esta fracción puede ser aislada físicamente después de la dispersión del suelo. La MOP se puede utilizar como un indicador de la calidad del suelo (Rocha Jr., *et al.*, 2013), al tener un papel significativo en el mantenimiento de la estructura del suelo, así como un importante rol en el ciclo de los nutrientes (Haynes, 2005).

El Carbono Orgánico Disuelto (COD) pertenece a la subfracción más lábil del Carbono Orgánico del Suelo (Strosser, 2010) y parece tener que ver una importante función en el ciclo global del Carbono (Siemens, 2003). Existen dos tipos de extracción del COD de los suelos con agua: Carbono Orgánico Disuelto en agua fría (COD_f) y Carbono Orgánico Disuelto en agua caliente (COD_c). Los métodos de extracción con agua fría se introdujeron a finales de la década de 1980 para estimar la materia orgánica edáfica

que es fácilmente mineralizable en los suelos de pastizales (Corre *et al.*, 1999) y bosques (Jandl y Sollins, 1997). La extracción de agua caliente fue introducida por Bronner y Bachler (1979) para estimar el N mineralizable en el cultivo de remolacha azucarera en Australia. Desde entonces, este método se ha utilizado ampliamente para las predicciones de la reserva de carbono mineralizable en suelos arables (Gregorich *et al.*, 2003). Landgraf *et al.* (2006) llevaron a cabo un estudio analizando muestras de extracciones de carbono con agua caliente y observaron el predominio de carbohidratos en éstas, e indicaron presencia de péptidos como compuestos acompañantes, ambos probablemente procedentes de biomasa microbiana y rizodepósitos.

Existe consenso en que el COD es altamente biodegradable y biodisponible (Marschner y Kalbitz, 2003; Ghani *et al.*, 2013; Shi y Marschner, 2014) y una importante fuente de carbono para los microorganismos (Smolander y Kitunen, 2002; Wang *et al.*, 2003). Numerosos factores bióticos y abióticos, por ejemplo, el desarrollo de las plantas, la estructura de la comunidad microbiana y su actividad (Li *et al.*, 2013; Fanin *et al.*, 2015), y la biodisponibilidad y especiación del nitrógeno (Heumann *et al.*, 2012) influyen en la formación de la COD. La disponibilidad de nitrógeno, a su vez, influye sobre la descomposición de los residuos vegetales (Mary *et al.*, 1996; Hadas *et al.*, 2004; Manzoni *et al.*, 2010). La COD también es un indicador adicional para entender la dinámica de la fracción lábil. Existe cierto conocimiento sobre los patrones espacio-temporales de la COD en los espacios forestales (Hishi *et al.*, 2004), o sobre su distribución dentro del perfil del suelo (Hamkako y Bedernichek, 2014), desde el cual el patrón temporal de la COD puede ser también entendida. Sin embargo, no sucede lo mismo en los espacios labrados.

La fracción estable de la MOS está constituida por componentes orgánicos resultantes de la biotransformación de los restos orgánicos, de las excreciones radiculares y de los compuestos orgánicos producidos por síntesis y/o metabolismo microbiano, bioquímicamente identificables, siendo la mayoría biodegradables (Coleman *et al.*, 1998). Entre los componentes más importantes de esta fracción están los ácidos húmicos y fúlvicos. Es importante destacar que no existen límites definidos entre los ácidos húmicos y fúlvicos. Es importante destacar que no existen límites definidos entre ácidos húmicos, fúlvicos y huminas. Todos ellos son parte de un sistema supramolecular extremadamente heterogéneo y las diferencias entre estas subdivisiones son debidas a variaciones en la acidez, cantidad presente de restos aromáticos y alquílicos de cadena larga y a la autoasociación de moléculas. Este conjunto de sustancias va a continuar

evolucionando con el tiempo por la acción de los microorganismos, solo que lo hará cada vez más lentamente. Esta fracción puede cuantificarse, siendo una de las técnicas más difundida para su obtención la que consiste en la oxidación húmeda de la muestra de suelo con ácido crómico. De este modo obtendremos el Carbono Orgánico oxidable (CO_{ox}).



Galantini y Suñer (2008) informaron que conceptualmente se pueden diferenciar dos fracciones con características y propiedades diferentes. Por una parte, los residuos orgánicos, material vegetal y animal en diferentes fases de su transformación, que puede representar entre el 5 y 35% del carbono del suelo. Por otra parte, el material humificado con peso molecular relativamente elevado, amorfo, coloidal, que se correspondería con la fracción más estable y que puede representar del 50 al 85% del material orgánico del suelo. Dado que la proporción de MO lábil/MO estable cambia con la textura del suelo (Divisalvi *et al.*, 2010) es seguro que este factor cambie entre suelos.

La fracción recalcitrante, por tanto inerte, se relaciona con la estabilidad de la propia materia orgánica y tiene mayor influencia en el secuestro de carbono, en la capacidad de retención de agua y en las propiedades del suelo como filtro ambiental, ya que su grado de acción es a más largo plazo. Dentro esta fracción, tanto las huminas como hollines y el carbón son los componentes más abundantes. Las huminas incluyen una amplia gama de compuestos químicos insolubles en medio acuoso y contienen, además, compuestos no húmicos como largas cadenas de hidrocarburos, ésteres, ácidos y estructuras polares, que pueden ser de origen microbiano, como polisacáridos y glomalina, íntimamente asociados a los minerales del suelo (Hayes y Clapp, 2001). Las huminas pueden llegar a representar más del 50% del COR en suelos minerales (Kononova, 1966) y más del 70% del COR en sedimentos litificados (Hedges y Keil, 1995). El otro tipo de fuente de carbono recalcitrante en los suelos son los carbones y hollines, producto de los restos orgánicos que quedan tras una quema o un incendio. Y posiblemente sean los componentes principales de la fracción inerte en los ecosistemas mediterráneos (Poirier *et al.*, 2000). El carbón es el residuo sólido aromático, altamente condensado, de la biomasa quemada y que a menudo, todavía guarda propiedades morfológicas de la misma. Por su parte, el hollín es generado por la fase gaseosa de un incendio. El hollín consiste en unas estructuras aromáticas altamente condensadas en multicapas que pueden estar o bien orientadas u orientadas aleatoriamente, formando una estructura tridimensional tipo “bulbo de cebolla”. Gong *et al.* (2009) consiguieron

demostrar que esta fracción se veía poco afectada por las prácticas de manejo como la fertilización. La utilidad de esta fracción, química y físicamente protegidas, como indicador la basaron en el efecto del manejo sobre la estabilidad de los agregados (Hernández-Hernández y López Hernández, 2002).

Las diferentes fracciones de la MOS pueden cambiar dependiendo del uso que se le dé al suelo y han sido usadas como indicadores de la sostenibilidad de los agroecosistemas (Lorenzo *et al.*, 2011). Las fracciones más activas están estrechamente ligadas al suelo y representan un reservorio a corto plazo de nutrientes. Además, al ser de rápida descomposición por parte de los microorganismos, dan una idea de la respuesta de éstos a las entradas de residuos al suelo. Por ello son útiles a la hora indicar la calidad de la MOS (Janzen *et al.*, 1992).

En la velocidad de descomposición de la materia orgánica y en la liberación del carbono, ambos procesos aerobios, por parte de los microorganismos, influyen tres factores principales:

- ✓ La composición de los organismos del suelo.
- ✓ El entorno físico (oxígeno, humedad y temperatura).
- ✓ La calidad y ubicación de la materia orgánica, de esta última estancia:
 -  Los residuos sobre la superficie del suelo generan un ciclo del carbono más lento debido a que están expuestos a menos microorganismos y entonces estos decaen más lentamente dando lugar a la producción de humus que es más estable y libera menos dióxido de carbono a la atmósfera. Es lo que sucede en los terrenos forestales.
 -  En cambio, cuando se labra la tierra, los residuos son incorporados en el suelo junto con el aire y se ponen en contacto con muchos microorganismos, lo cual acelera el ciclo del carbono. La descomposición es más rápida, lo que trae como resultado menos formación de humus estable y liberación del dióxido de carbono a la atmósfera y, por lo tanto, una reducción de la materia orgánica.

La parte viva del suelo incluye una amplia variedad de microorganismos tales como bacterias, hongos, micorrizas, protozoarios, nematodos, virus y algas. Cada uno de ellos tiene su propia función en los procesos de reciclaje de nutrientes (FAO, 2003). En general, las bacterias descomponen los substratos de fácil uso, los compuestos de carbono simples, tales como: las exudaciones de las raíces y los residuos frescos de las plantas. Los desechos producidos por las bacterias se convierten en materia orgánica. Este residuo, si bien es menos descomponible que el material original de plantas y animales, no obstante, puede ser usado por un gran número de organismos. Existen algunos tipos de bacterias que incluso pueden deshacer pesticidas y agentes contaminantes en el suelo (FAO, 2003). Son especialmente importantes en la inmovilización y retención de nutrientes en sus células y, por lo tanto, previenen la pérdida de nutrientes de la zona de las raíces.

Los hongos descomponen la materia orgánica más resistente, reteniendo en el suelo los nutrientes obtenidos bajo forma de biomasa de hongos y liberación de dióxido de carbono (CO_2). El material menos resistente es consumido primeramente, mientras que el material más resistente, como la lignina y las proteínas, es descompuesto en varias etapas. Muchos de los productos de desechos secundarios son ácidos orgánicos; por ello, los hongos ayudan a incrementar la acumulación de materia orgánica rica en ácidos húmicos, resistentes a una degradación posterior (FAO, 2003). Los hongos son además importantes para la descomposición de las estructuras de los anillos de carbono de algunos agentes contaminantes. Por todo ello, se cree que los hongos juegan un papel significativo en la producción de la Materia Orgánica Disuelta (MOD) (Guggenherger *et al.*, 1994; Moller *et al.*, 1999). Además, según Alexander (1977), el suelo forestal presenta una tasa de biomasa fúngica mayor en comparación con los suelos agrícolas, lo que permitiría explicar en parte el mayor contenido de MOS en los primeros. No obstante, el pH también tiene su influencia, aquellos suelos con menor pH presentan más hongos, mientras que los suelos con mayor pH, tienen más bacterias.

Las lombrices de tierra, sin ser microorganismos, merecen mención especial ya que promueven la actividad de los microorganismos mediante la fragmentación de la materia orgánica y el aumento del área accesible a los hongos y las bacterias. Además, estimulan el crecimiento extensivo de las raíces en el subsuelo debido a la mayor disponibilidad de nitrógeno en los túneles (hasta cuatro veces más que el nitrógeno total en la capa superior del suelo) y a la fácil penetración de las raíces por los canales existentes.

2. OBJETIVOS.

Los objetivos principales de este Trabajo de Fin de Carrera son los siguientes:

1. Cuantificar el contenido orgánico del suelo según su grado de transformación/descomposición:
 - 1.1 Determinación de la Carbono Orgánico Total (COT).
 - 1.2 Determinación de la fracción lábil: Carbono Orgánico Particulado (COP), Carbono Orgánico Disuelto en agua fría (CODf) y en agua caliente (CODc).
 - 1.3 Determinación de la fracción orgánica de descomposición intermedia: Carbono Orgánico Oxidable (COox).
 - 1.4 Determinación de la fracción orgánica escasamente descompuesta: Carbono Orgánico Recalcitrante (COR).
2. Cuantificar el contenido orgánico de 50 muestras de suelo seleccionadas según un gradiente N-S en el Altoaragón.
3. Analizar, en los diferentes suelos, si la respuesta de la Materia Orgánica y sus fracciones frente al cambio de uso del suelo es homogénea.

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

Para la consecución de los objetivos anteriormente descritos, en presente capítulo se detallan los aspectos relacionados con la metodología experimental. Se incluyen igualmente una descripción de las zonas de estudio, así como de los tipos de suelo analizados.

3.1 EL MEDIO FÍSICO.

Se muestrearon cuatro zonas del Altoaragón, provincia de Huesca, abarcando una amplia gama de condiciones ambientales, vegetación, estado de degradación, usos y propiedades del suelo. Todas estas zonas ya han sido objeto de estudio en anteriores trabajos (Escudero, 1997; Lorenzo, 2000; Mériz, 2000; entre otros) y el presente trabajo viene a completarlos en parte, aportando además otro enfoque al añadir la comparación de la Materia Orgánica Total y sus diferentes fracciones con los perfiles edáficos agrícolas y forestales homólogos.

Estas zonas de estudio fueron: Fragen, en la Comarca del Sobrarbe; Arascués, en la Comarca Hoya de Huesca; Castellazuelo y Salas bajas, en la Comarca Somontano de Barbastro; y Fraga, en la Comarca Bajo Cinca.



Figura. 1. Mapa comarcal de Aragón, donde se indican las áreas de estudio.

3.1.1 FRAGEN.

3.1.1.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA.

El área de estudio se encuentra emplazada en la población de Fragen, perteneciente al Término Municipal de Torla, dentro del Valle de Broto en el Pirineo central, integrado en la Comarca del Sobrarbe. Las coordenadas geográficas son: 42° 37' latitud Norte y 0° 08' longitud Oeste; y la altitud es de 1100 msnm. Fragen limita: al Norte, con el Monte Litro (2019 msnm); al Oeste, con el río Ara; y al Sur, con el río Sorrosal.

3.1.1.2 CLIMATOLOGÍA y CLIMA EDÁFICO.

El entorno de Fragen tiene un clima húmedo, con una precipitación anual media de 1262 mm, con un máximo en noviembre y un mínimo en julio. La humedad almacenada más la lluvia suelen ser aproximadamente igual o superiores a la evapotranspiración en verano, de modo que el estrés hídrico en esta época del año suele aparecer dos veces por década, cubriéndose sólo el 70 % de los requerimientos de agua. Bajo estas condiciones, el régimen de humedad del suelo puede clasificarse como Údico, de acuerdo con la USDA (S.S.S., 1975, 1998), puesto que los prados dedicados a la siega, solamente se alcanza a tener seca toda la sección de control unos 30 días y no consecutivos.

	E	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	Año
T (°C)	2,7	4,0	5,4	7,7	11,2	15,4	19,2	17,9	12,4	10,4	6,4	3,6	9,69
P (mm)	114	104	85	111	121	106	64	76	100	127	134	118	1261
ETP (mm)	38	48	86	104	124	168	180	151	83	47	34	19	1081
R (mm)	100	100	99	100	98	36	0	0	17	98	100	100	

Tabla 1. Datos climatológicos de Fragen. (*Fuente:* Lorenzo, 2000)

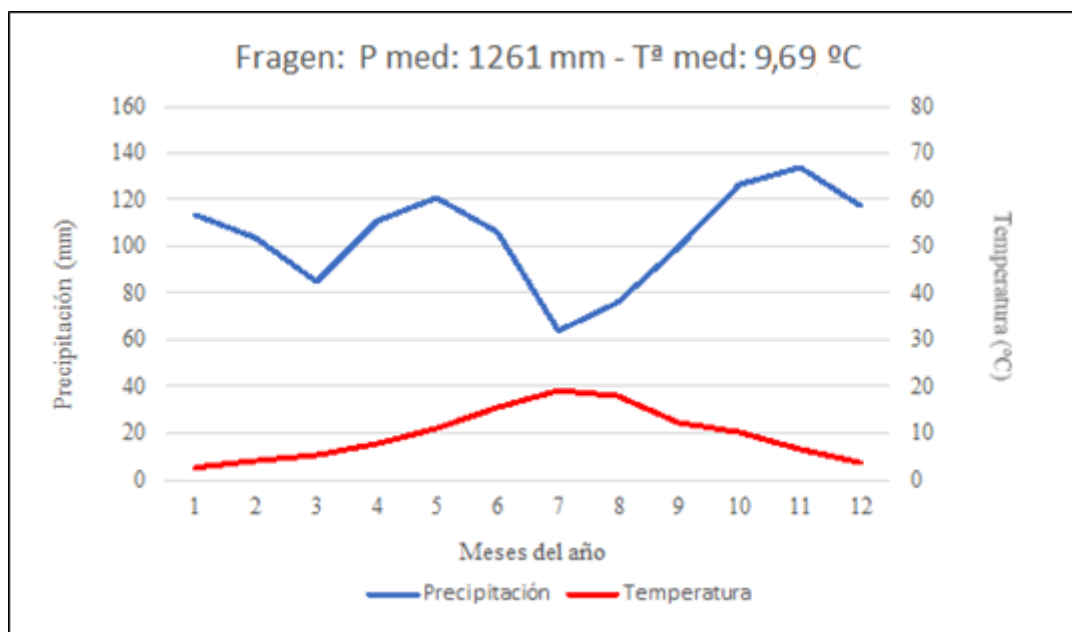


Figura 2. Diagrama ombrotérmico de Fragen.

Las temperaturas sufren una fuerte oscilación, mientras en verano las temperaturas medias son de 18 a 19 °C en agosto y julio, en invierno, la media de temperaturas oscila entre 3 y 4 °C para el periodo que va desde diciembre a febrero. Por tanto, la oscilación entre estas dos estaciones es de más de 15 °C. Así, si aplicamos el criterio de la USDA (S.S.S., 1975, 1998) para el régimen de temperatura del suelo, en el fondo de valle obtendremos un régimen Mésico; y en las zonas situadas a más de 1200 msnm en vertientes Norte y de 1700 msnm en las que están orientadas al Sur se obtendrá un régimen Frígido. Nuestras parcelas de estudio se ubican en una zona con un régimen de temperatura del suelo Mésico.

3.1.1.3 GEOLOGÍA.

La zona de estudio de Fragen está dispuesta en el frente de las sierras interiores del Pirineo, donde se da una predominancia de las areniscas calcáreas alternadas con calizas, margas y lutitas (esta alternancia de materiales sedimentarios o turbiditas viene denominándose *facies flysch* del eoceno surpirenaico); y de los depósitos cuaternarios, relacionados con la actividad de los glaciares del Pirineo durante su extensión máxima, y ya en tiempos más recientes, por la actividad fluvial. Así, Fragen se sitúa sobre un cabalgamiento surpirenaico que afecta directamente sobre los materiales del *flysch*, es el denominado Manto de Gavarnie (Badía y Martí, 1999).

3.1.1.4 GEOMORFOLOGÍA.

El área de estudio en Fragen presenta:

- a) Las laderas, si bien están marcadas por las fuertes pendientes sobre el *flysch*, debido a la acción del hombre, se caracterizan por estar aterrazadas con el objetivo de conservar el suelo y el agua. La toponimia local denomina a estas áreas como *panares*, debido a su antiguo uso para cultivar cereal con el objeto de elaborar pan. En la actualidad están pastoreadas.
- b) En el fondo de valle se muestra una morfología más suave, con ondulaciones modeladas por el periodo glacial y la posterior acción fluvial y erosiva. Es en este entorno donde se hallan la mayoría de los pastos. También nos encontramos el barranco de Sorrosal, el cual se encaja entre las calizas duras de *flysch*, presentando una sección transversal en V.

3.1.1.5 VEGETACIÓN.

La vegetación del Sobrarbe contiene todos los elementos característicos del paisaje del Pirineo Central, donde debido a la convergencia de influencias florísticas muy diversas (mediterráneas, atlánticas, de alta montaña alpina o mediterránea) originan un abigarrado mosaico de hábitats y comunidades vegetales.

Las pendientes, la altitud, los factores ambientales, la orientación y la influencia humana, con sus actividades agrícolas y ganaderas, modifican sobremanera la distribución de la vegetación y el uso del territorio. Si bien, estas variaciones dan lugar a una clara zonación vertical de la vegetación. La amplitud altitudinal y térmica de cada piso oscila alrededor de 500 m y 2-3 °C respectivamente. Dentro de cada uno de los pisos se pueden distinguir fácilmente los ambientes más húmedos, donde se desarrollan formaciones similares a las centroeuropeas, de los más secos, influenciados por la mediterraneidad del clima que impera en la vertiente meridional pirenaica.

Por encima de los 2200 msnm, podemos encontrar un piso con:

- a) Un ambiente húmedo alpinizado, el cual carece de árboles y en el que se extienden diversos tipos de pastos («tasca alpina») y vegetación propia de ventisqueros, en el que hay grandes espacios cubiertos por roquedos o pedregales, donde los materiales y la microgeomorfología tienen una gran influencia sobre los vegetales, y

- b) Un ambiente seco criooro-mediterráneo, el cual también está carente de árboles y en el que se pueden apreciar pastos duros de festucas (*Festuca sp.*), así como vegetación glerícola.

Entre los 1800-2200 msnm, el piso se presentan con:

- a) Un ambiente húmedo subalpino, con bosques claros de pino negro (*Pinus uncinata* Raymond) y landas de rododendros (*Rhododendron sp.*), arándanos (*Vaccinium sp.*), así como abedulares (*Betula sp.*), y
- b) Un ambiente seco oro-mediterráneo, que se corresponde con las solanas, donde el bosque de pino negro (*Pinus uncinata* Raymond) cohabita con enebros (*Juniperus sp.*), abrizones o erizones (*Echinopartum horridum* (Vahl) Rothm) y la gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng). Si bien, se alterna con pastos de festucas (*Festuca sp.*).

Entre los 1200-1800 msnm, el piso viene caracterizado por las orientaciones, la humedad edáfica y la historia de usos y en él se diferencian:

- a) Un ambiente montano superior, húmedo, en el que alternan hayedos (*Fagus sp.*) y abetales (*Abies sp.*) con pinares musgosos de pino albar o royo (*Pinus sylvestris* L.). Este último tipo de vegetación es la que nos encontremos en las parcelas forestales del estudio, y
- b) Un ambiente seco montano mediterráneo, con presencia de pinares secos de pino albar o royo (*Pinus sylvestris* L.), pinares salgareños (*Pinus nigra* Arnold) y quejigales (*Quercus faginea* Lam.) junto a bojés (*Buxus sempervirens* L.) y espino albar (*Crataegus monogyna* Jacq.).

En los bancales abandonados suelen aparecer arbustos, entre los que destacan el endrino (*Prunus spinosa* L.) y el espino albar (*Crataegus monogyna* Jacq.) como precursores del quejigal. Los prados de las parcelas de estudio pertenecen a la asociación vegetal, As. *Rhisantho mediterrani-Trisetum flaventis*, con clasificación a nivel de subasociación, subas. *Salvietosum pratensis* o *Trifolietosum campestris*, por ser pasto de secano (Badía y Martí, 1999). El cambio de uso de forestal a agrícola-ganadero tuvo lugar a mediados del siglo XIX, cuando los bancales se roturaron para dedicarlos al cultivo de cereales, principalmente centeno (*Secale cereale* L.), para la elaboración de pan. De aquí, que la

toponimia local los denomine *Panares*. Posteriormente, a comienzos del siglo XX, ante la demanda de animales de tracción por parte de los agricultores del llano, trajo consigo la sustitución de los campos de cereal por los prados de siega (Badía y Martí, 1999).

Entre los 800-1200 msnm tendremos:

- a) Un piso montano inferior, más o menos húmedo, con grandes bosques de pino albar o royo (*Pinus sylvestris* L.), quejigales (*Quercus faginea* Lam.) y bosques mixtos con tilos (*Tilia* sp.), arces (*Acer campestre* L.), fresnos (*Fraxinus* sp.), robles (*Quercus pyrenaica* Willd.), etc. Estos últimos aparecen refugiados en el ambiente húmedo de las hoces o cañones donde predomina la atactofitia, es decir, la mezcla desordenada de elementos florísticos de origen diverso, y
- b) Un piso de carácter submediterráneo, seco, representado por quejigales (*Quercus faginea* Lam.), pinares secos de pino salgareño (*Pinus nigra* Arnold) y cultivos de secano.

Finalmente, en el fondo de valle, entre los 600-800 msnm, nos encontramos el piso basal, con un ambiente mesomediterráneo, en el que predominan los encinares (*Quercus ilex* ssp.), los pinares de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.), los cultivos de secano, los pastos de siembra y las plantaciones de olivos (*Olea europaea* L.) y almendros (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb).

3.1.2 HOYA DE HUESCA.

3.1.2.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA.

El área de estudio se encuentra localizada en la población de Arascués, perteneciente al Término Municipal de Nueno, integrado en la Comarca Hoya de Huesca. Las coordenadas geográficas son: 42° 10' latitud Norte y 0° 30' longitud Oeste; y la altitud es de 673 msnm. Arascués limita: al Norte, con la Sierra de Gratal; al Oeste, con la Galliguera/Ayerbe; al Este, con la zona de Igriés y estribaciones de la Sierra del Águila; y al Sur, con Huesca capital.

3.1.2.2 CLIMATOLOGÍA y CLIMA EDÁFICO.

El entorno de Arascués, de acuerdo con los datos climatológicos, presenta el máximo pluviométrico tiene lugar en el mes de mayo con 63 mm y el mínimo, en el mes de julio, con 29 mm. La precipitación anual media suele ser superior a 500 mm. Por tanto, de acuerdo con el criterio de la USDA (S.S.S., 1975, 1998), el régimen de humedad del suelo es de tipo Xérico, puesto que la sección de control del suelo permanece seca más de 45 días consecutivos o más en los cuatro meses siguientes al solsticio de verano y húmeda 45 días consecutivos o más en los cuatro meses siguientes al solsticio de invierno.

	E	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	Año
T (°C)	4,4	6,2	9,5	12,3	16,0	19,9	22,8	22,5	19,4	14,2	8,7	5,3	13,4
P (mm)	40	37	52	46	63	48	29	49	59	46	43	48	560
ETP (mm)	9	14	33	52	83	113	138	126	89	53	23	11	744
R (mm)	88	100	100	94	74	9	0	0	0	0	20	57	

Tabla 2. Datos climatológicos de la Comarca Hoya de Huesca. (Fuente: Lorenzo, 2000)

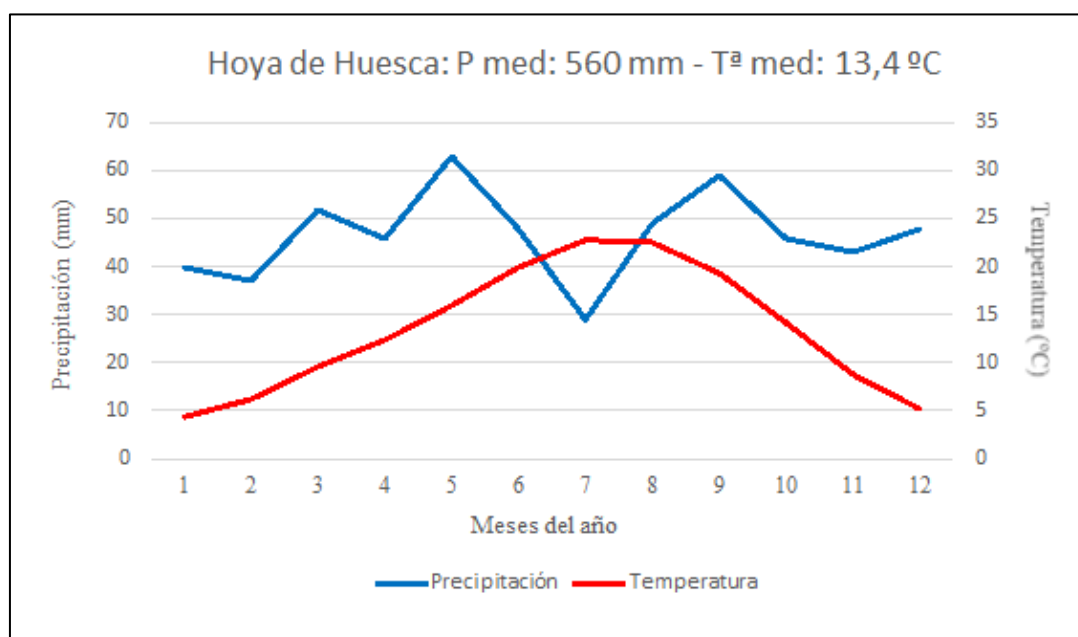


Figura 3. Diagrama ombrotérmico de la Comarca Hoya de Huesca.

En cuanto a las temperaturas, éstas oscilan entre los 22,8 °C de media en el mes de julio y los 4,4 °C en el mes de enero. Con una media anual que no supera los 15 °C, considerándose un clima térmicamente Templado con un invierno Moderado, con ciertos grados de continentalidad. Por ello, podemos considerar que el régimen de temperatura del suelo que corresponde a la zona de Arascués es de tipo Térmico, según la USDA (S.S.S., 1975, 1998), ya que la temperatura edáfica es igual o superior a los 8 °C, pero inferior a los 15 °C.

3.1.2.3 GEOLOGÍA.

La Comarca Hoya de Huesca está formada por materiales que presentan una alternancia de margas continentales con areniscas, dispuestos en capas horizontales, que pueden considerarse como sedimentos de acarreo de procedencia pirenaica, aportados después de la elevación orogénica de la Cordillera.

Los ríos que surcan la comarca son: el Flumen, el Isuela y el Guatizalema, los cuales han respetado las areniscas que se disponen de Norte a Sur, formando plataformas alargadas. Los únicos relieves presentes en la planicie son el resultado de dicho proceso. Sobre las cumbres de estas plataformas se suelen encontrar depósitos detríticos que corresponden a un viejo aluviamiento cuaternario (Lorenzo, 2000).

3.1.2.4 GEOMORFOLOGÍA.

Las sierras exteriores oscenses se encuentran al Norte de la comarca, enmarcando una zona de relieve que da lugar a un paisaje de amplias llanuras con escasos contrastes, con unas cotas que varían entre los 380 y los 650 msnm de altitud.

Las principales unidades geomorfológicas que se pueden encontrar son las terrazas, que han ido evolucionando durante el periodo cuaternario. Durante este periodo comenzó una jerarquización de la red fluvial de los ríos Flumen, Isuela y Guatizalema. El primero en individualizarse fue el río Isuela (Rodríguez, 1986), que al cambiar de nivel de base aumentó su poder de erosión y aceleró la evacuación de lutitas, limolitas y areniscas miocenas de la comarca. Junto a estos ríos, actualmente, las superficies de las terrazas se utilizan como suelo de labor, pero el escarpe frontal no siempre es fácil de conservar. En algunos escarpes se puede comprobar la constitución interna del depósito fluvial, dominando en las proximidades de la sierra, las gravas calizas de gran diámetro. Los afluentes del río Isuela, sólo son pequeños barrancos de edad relativamente reciente, de actividad principalmente erosiva.

3.1.2.5 VEGETACIÓN.

El bosque climático característico de la zona de estudio es el carrascal, siendo la especie más representativa la carrasca (*Quercus ilex subsp. ballota*). El carrascal debió de ocupar grandes extensiones, pero los siglos de roturaciones, talas e incendios han transformado el paisaje, uniformizándolo, dominado ahora por cultivos de secano en la mayor parte del llano y algunos de regadío en la zona sureste. Entre estas fincas se intercalan retazos de carrascales aún bien conservados, en uno de éstos, se emplaza la parcela forestal del estudio.

Incluso en caso de que conserven una buena densidad de carrascas, estos bosquetes tienen un acusado efecto borde: faltan algunas especies características, tanto animales como vegetales y, en cambio, aparecen otras propias del contacto con zonas abiertas. Constituyen valiosos corredores ecológicos para las especies que son capaces de vivir en estos bosques-isla pero no en los campos de secano, por los que pueden pasar de unas masas a otras. La parcela agrícola del estudio se ubica en un campo de cereal, cuya roturación data de la década de los años 30 del siglo XX.

Estos carrascales están bastante empobrecidos florísticamente. Las especies características del sotobosque son el boj (*Buxus sempervirens* L.), el enebro rojo (*Juniperus oxycedrus* L.), la rubia (*Rubia peregrina* L.), la betilaina (*Viburnum lantana* L.) y el durillo (*Viburnum tinus* L.), el aligustre (*Ligustrum vulgare* L.), el jazmín silvestre (*Jasminum fruticans* L.) y el lentisco (*Pistacia lentiscus* L.).

3.1.3 SOMONTANO DE BARBASTRO.

3.1.3.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA.

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de la comarca del Somontano de Barbastro. Los suelos para estudiar se reparten entre los Términos Municipales de Salas Bajas y Castellazuelo. La altitud a la que se haya Castellazuelo es de 368 msnm, mientras que Salas Bajas está a 460 msnm. Los límites de dicha comarca son: al Norte, con las Comarcas de Sobrarbe y Ribagorza; al Oeste, con la Comarca Hoya de Huesca/Plana de Uesca; al Sur, con la Comarca de los Monegros; y al Este, con las Comarcas de la Litera/Llitera y Cinca Medio/Zinca Meya.

Los principales ríos que surcan por esta zona son el Alcanadre, el Vero, el Cinca y el Ésera.

3.1.3.2 CLIMATOLOGÍA y CLIMA EDÁFICO.

Las condiciones orográficas de la comarca del Somontano de Barbastro propician una reducción en el volumen total de precipitación anual. El máximo pluviométrico tiene lugar en el mes de mayo con cerca de 70 mm y el mínimo, en el mes de junio, con aproximadamente 27 mm. La precipitación anual media no suele ser superior a 500 mm. Por tanto, de acuerdo con el criterio de la USDA (S.S.S., 1975, 1998), el régimen de humedad del suelo es de tipo Xérico, puesto que hay más de 150 días sin humedad, permaneciendo la sección de control seca 45 días consecutivos o más en los cuatro meses siguientes al solsticio de verano y húmeda 45 días consecutivos o más en los cuatro meses siguientes al solsticio de invierno.

	E	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	Año
T (°C)	5,5	6,6	10,9	13,8	18,5	21,4	23,9	24,4	21	14,9	9,7	5,9	14,7
P (mm)	28,8	29,6	50,6	36	69,7	44,4	26,7	37,8	62,1	45	30,6	42,2	503,4
ETP (mm)	9,7	13,2	35,2	54,8	97,5	123,5	147,6	141,6	98,2	52,6	23,4	10,5	807,6
R (mm)	58	74,7	89,7	70,9	43,1	0	0	0	0	0	7,2	38,9	

Tabla 3. Datos climatológicos del Somontano de Barbastro. (Fuente: *modificado de Méritz, 2000*).

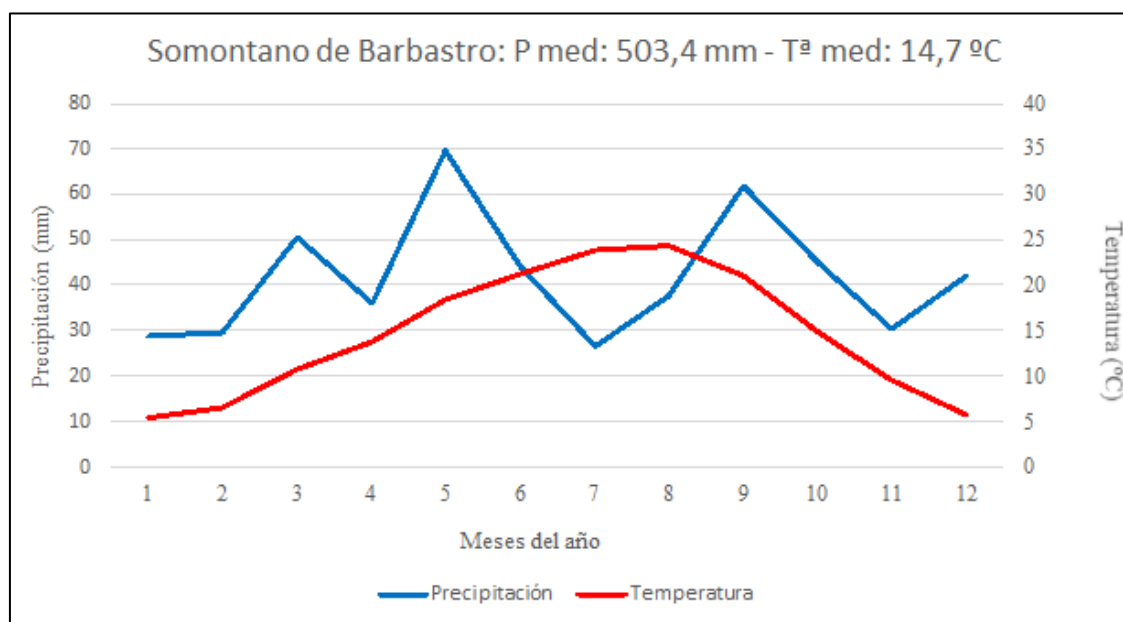


Figura 4. Diagrama ombrotérmico del Somontano de Barbastro.

Las temperaturas oscilan entre los 24,4 °C de media en el mes de agosto y los 5,5 °C en el mes de enero. Con una media anual que no supera los 15 °C, considerándose un clima térmicamente Templado con un invierno Moderado. Si de nuevo aplicamos el criterio de la USDA (S.S.S., 1975, 1998) para el régimen de temperatura del suelo, obtendremos un régimen de tipo Térmico.

3.1.3.3 GEOLOGÍA.

En el Somontano de Barbastro se presentan sobre todo glacis y terrazas, si bien, los primeros ocupan una menor superficie, en parte debido al gran número de relieves estructurales (como plataformas).

En el valle del río Vero, el nivel de glacis alcanza un buen desarrollo, localizándose en ambas márgenes, con un recorrido máximo de 2,5 km en el llano de Salas. En la margen derecha, el glacis es erosivo tanto sobre los relieves en cuesta como sobre las areniscas y conglomerados del flanco Norte del anticlinal de Barbastro. En la margen izquierda, el glacis se labra a favor de un cambio lateral de facies de las areniscas miocénicas, con una actividad igualmente erosiva y aparece con una ligera cobertura de arcillas rojas y cantos sueltos de cuarzo y caliza (Rodríguez, 1986).

3.1.3.4 GEOMORFOLOGÍA.

El relieve del Somontano de Barbastro es de tipo tubular, con un relieve estructural elaborado sobre series estratigráficas horizontales de resistencia diferencial (Rodríguez, 1986). Además, éste se muestra aparentemente suave, con unas cotas que oscilan entre los 400 y 800 msnm, existiendo una circulación preferente de la red fluvial que trae consigo una selectiva erosión de los materiales originales.

3.1.3.5 VEGETACIÓN.

El Somontano de Barbastro está recubierto por bosques discontinuos de quercíneas que alternan y se intercalan con campos de cultivo más abundantes cuanto más al sur. La vegetación natural de la comarca corresponde a la clase *Quercetea ilicis* (Br.-Bl. 1936), de bosques perennifolios esclerófilos con diferentes asociaciones o dominios vegetales. La especie más abundante en toda la comarca es la denominada carrasca (*Quercus ilex subsp. ballota* L.).

En su mitad septentrional, el Somontano de Barbastro es un territorio que, debido principalmente a su geomorfología, está dominado por vegetación espontánea en la que el árbol es parte importante. El centro y norte comarcales presentan el aspecto general de un mosaico heterogéneo de cultivos herbáceos y arbóreos entre la vegetación natural de matorral o bosque más o menos aclarado.

Antaño, la vegetación que dominaba en toda la comarca del Somontano de Barbastro era el carrascal, con matorral diverso según las características edafoclimáticas de cada lugar. Desde tiempos remotos la actividad humana conformó un tipo de paisaje cambiante y característico con una agricultura en la que predominaba el olivar, el viñedo y la ganadería, siempre de forma extensiva y en armonía con el entorno natural. El carboneo, muy común en la zona, castigaba las carrascas y quejigos, los cuales tras las cortas rebrotaban. A mitad del siglo XX se roturaron tierras, levantando las raíces de carrascas (*Quercus ilex subsp. ballota* L.) y olivos (*Olea europaea* L.) para dedicar el mejor terreno a cereal y almendro (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb), primero en el sur y luego, aunque no tan extensamente, en centro y norte, con lo que el paisaje varió fuertemente en algunos lugares. Posteriormente, se incrementaron las tierras dedicadas a regadíos y últimamente al viñedo intensivo, con nuevas variaciones en ocasiones drásticas en el paisaje del centro y sur. Las parcelas agrícolas muestreadas se encuentran en sendos viñedos (*Vitis vinifera* L.), en los que el cambio de uso del suelo data de hace más de 100 años. Las parcelas forestales se hayan emplazadas en el bosque característico de la comarca, el carrascal.

La progresión geográfica de norte a sur conduce de una vegetación forestal arbolada a otra arbustiva que ocupa las lomas semiáridas y tierras no aptas para el cultivo agrícola con restos de antiguos carrascales muy degradados y convertidos en gran parte en matorral de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) o tomillo (*Thymus vulgaris* L.). Las amplias zonas planas de la mitad sur, con escasas y degradadas zonas forestales, están ocupadas por cultivos de regadío con problemas de salinización en lugares con drenaje insuficiente, en los que domina una vegetación halófila con abundancia de salicornia (*salicornia* sp.), ontina (*Artemisia herba-alba* Asso), capitana (*Salsola kali* L.), sosera (*Atriplex halimus* L.), etc.

3.1.4 FRAGA.

3.1.4.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA.

El área de estudio se emplaza en el monte de San Simón (380 msnm), ubicado en el Término Municipal de Fraga, en la Comarca del Baix Cinca/Bajo Cinca. Las coordenadas geográficas son: 41° 30' latitud Norte y 0° 17' longitud Este; y la altitud es de 118 msnm. Los límites geográficos de Fraga son: al Norte, con Candanos, Ballobar, Velilla y Zaidín, todos ellos municipios de su misma comarca; al Oeste, con los Monegros; al Este, con la Comarca del Segriá de Lleida; y al Sur, con el Bajo Aragón Zaragozano.

La población se enmarca a ambos lados del río Cinca, estando en la margen izquierda su núcleo antiguo, mientras que en la margen derecha está la parte más moderna de la localidad (Badía, 1989). La ladera del monte de San Simón se halla orientada al NE y presenta una pendiente que oscila entre 15-45 %, encontrándose en la margen derecha del río Cinca.

3.1.4.2 CLIMATOLOGÍA y CLIMA EDÁFICO.

La caracterización de los ecosistemas de la Comarca del Baix Cinca/Bajo Cinca viene determinada por la extrema oscilación térmica a lo largo del año. Las máximas temperaturas, en verano, se dan desde junio hasta la mitad de agosto, y las mínimas invernales, en el mes de enero (Badía, 1989). La temperatura media anual es de 15,2 °C.

El clima de la zona de Fraga puede considerarse Mediterráneo, el cual presenta dos picos pluviométricos, en primavera y en otoño, además de presentar una fuerte sequía estival. La precipitación total anual es entorno a los 318 mm.

	E	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	Año
T (°C)	5,2	7,4	11,2	14,3	18,1	22,3	25,4	24,8	21,7	16,1	9,6	5,7	15,2
P (mm)	18	25	26	29	34	28	13	21	30	32	29	33	318
ETP (mm)	8	15	15	56	92	130	161	144	102	58	22	9	832
R (mm)	41	51	42	42	0	0	0	0	0	0	7	31	

Tabla 4. Datos climatológicos de Fraga. (Fuente: Escudero, D., 1997)

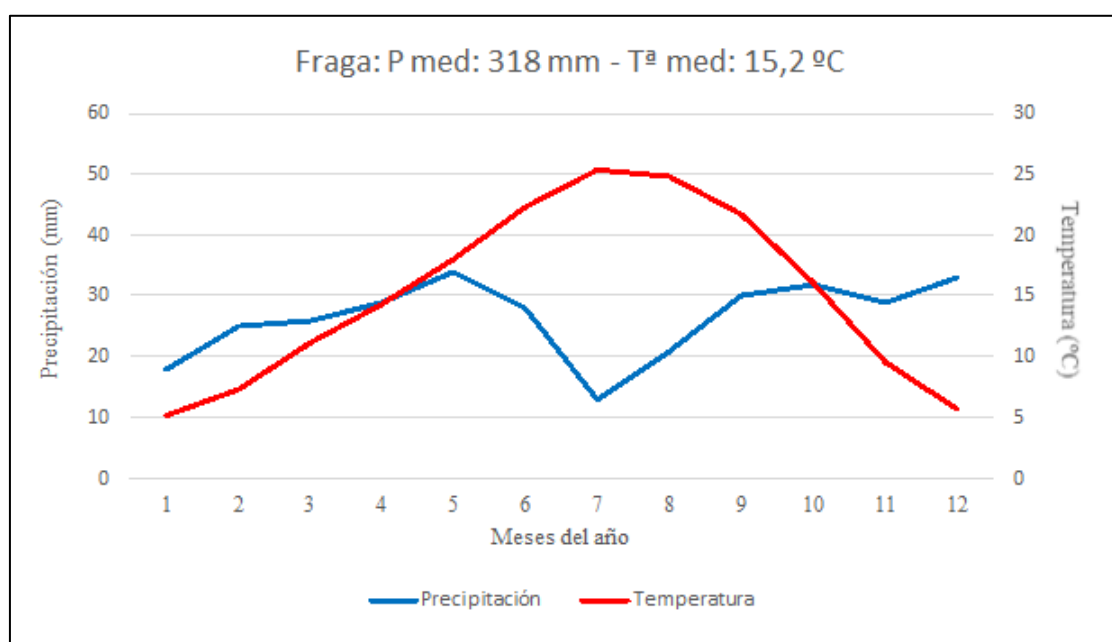


Figura 5. Diagrama ombrotérmico de Fraga.

En Fraga, la formación de nieblas y la presencia de fuertes vientos son dos meteoros importantes al encontrarse un gran número de veces presentes, pero individualmente, a lo largo del año. Durante la época invernal, la niebla aparece en más del 15% de los días, provocando un aumento de la humedad relativa, una disminución de la insolación del suelo, conllevando una reducción térmica por inversión. El viento dominante es el Cierzo, que puede superar los 70 Km/h. Ello implica pérdidas hídricas al aumentar la evapotranspiración.

En cuanto al clima edáfico, respecto al régimen de temperaturas del suelo, puede considerarse de tipo Térmico, con una temperatura edáfica comprendida entre 15-22 °C, según criterio de la USDA (S.S.S., 1975, 1998). Por lo que respecta del régimen de humedad del suelo, estaríamos en un tipo Árido (S.S.S., 1975, 1998), aunque en los límites con el Xérico, ya que la superficie de control se encuentra más de 180 días consecutivos sin humedad, por encima del Punto de Marchitez Permanente.

3.1.4.3 GEOLOGÍA.

En la margen derecha del río Cinca, donde se encuentra el monte San Simón, los materiales terciarios que predominan en los escarpes son oligocénicos (Badía, 1989), representados por lutitas versicolores en alternancia con calizas que, conforme aumenta la altura, son sustituidas sucesivamente por lutitas rojizas, calizas con hiladas margosas y, nuevamente, por lutitas versicolores que se intercalan con bancos de calizas de espesor considerable. Aparecen también yesos, en forma de limos yesíferos, yesos fibrosos masivos y cristales de yeso. Se encuentran también materiales cuaternarios, los cuales se sitúan en los fondos de valle o pequeñas depresiones a modo de plataforma, o en los derrubios de pendientes y en los aportes de origen coluvial (Badía, 1989).

La plataforma objeto del estudio presenta predominancia de la piedra caliza, de color gris o blanquecino, presentándose en forma de láminas o en forma masiva en estratos tabulares. Cuando los estratos se presentan aislados entre lutitas, su extensión es de escala hectométrica. Esta distribución de bandas calizas-lutitas se repite por toda la vertiente, en especial en las zonas superiores. En la plataforma aparece una capa de dos a cuatro metros de espesor, con estratos separados por planos de estratificación o por finas capas de lutitas o margas, cuya extensión lateral es de varios kilómetros.

3.1.4.4 GEOMORFOLOGÍA.

Fraga se encuentra enclavado en la Depresión del Ebro Medio, rodeado por la Cadena Pirenaica al Norte, la Cordillera Ibérica al Sur y Cordillera Litoral Catalana al Este.

Tras el Terciario, la evolución geomorfológica se efectuó de un modo diferente dependiendo de la distinta constitución de los materiales depositados en lo que era una fosa tectónica durante este periodo, así como la erosión y vaciado de dicha fosa (Badía, 1989). Hacia el centro sedimentario de la depresión, los lechos de yesos, margas y calizas se suceden en la vertical, condición principal para un modelo tabular. Los relieves de la zona se relacionan íntimamente con la evolución del río Ebro y de sus diversos afluentes, como el Cinca y el arroyo Valcuerna (éste en menor medida). Las diferencias de modelado van marcándose en función del caudal y del poder erosivo de dichas formas fluviales, así como de la resistividad de los materiales que encontraban a su paso.

En el área a estudiar encontramos las siguientes unidades geomorfológicas:

- ❖ **Plataforma estructural:** se trata de la unidad morfológica principal formando los llanos de Cardiel. Se encuentra ligeramente basculada hacia el SW. La cornisa es atenuada de calizas y margas alternantes.
- ❖ **Laderas:** son superficies inclinadas que descienden desde las plataformas hasta los valles de fondo, glacis o terrazas. La ladera del monte de San Simón es una ladera cubierta, regularizada de perfil convexo-cóncavo a favor de la pendiente. La presencia de coluviones es frecuente en este tipo de ladera. Su degradación es lenta debido al nivel de base escasamente funcional.
- ❖ **Valle de fondo:** de unas decenas de metros de anchura, con abancalamientos transversales abandonados. Presenta una incisión longitudinal llamada tollo en surco (Pellicer y Echeverría, 1989; Escudero, 1997), de paredes verticales, que corta el paquete de limos que rellena el valle.

3.1.4.5 VEGETACIÓN.

La formación natural arbórea más importante de la comarca fragatina la constituye el pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) con extensiones importantes en algunos lugares, ocupando muchas veces las vertientes y los barrancos. También encontramos algunos ejemplares de enebro rojo (*Juniperus oxycedrus* L.).

La vegetación natural de estas tierras es predominantemente xerófica, como corresponde a un medio bioclimático árido y seco, cual es el de la Depresión del Ebro y donde predominan las formas vegetales de monte bajo. La vegetación presenta además diversas adaptaciones orientadas a paliar la pérdida de agua por transpiración, entre ellas: la reducción de la superficie foliar, como en el tomillo (*Thymus vulgaris* L.) y en el género *Ephedra* sp.; la temprana pérdida de hojas, como ocurre en la ginesta (*Retama sphaerocarpa* L.); la acumulación de agua en los tejidos, como se ve en las uñas de gato (*Sedum sediforme* (Jacq.) Pau.); la transformación de hojas en espinas que efectúa la aliaga (*Genista scorpius* L.). Este último carácter resulta de interés, ya que es un eficiente mecanismo de defensa frente a la depredación de los herbívoros. Otras especies presentan esencias como son el romero (*Rosmarinus officinalis* L.) o látex como en las plantas del género *Euphorbia* sp. (Euforbias y lechetreznas).

La zona objeto de estudio sufrió un incendio en 1991, y en la actualidad, además de la mayoría de las plantas citadas anteriormente, en la zona forestal proliferan los rebrotes de coscojas (*Quercus coccifera* L.), así como las jaras (*Cistus albidus* L.).

En cuanto a la parcela agrícola del estudio, ésta se encuentra dedicada al cultivo de secano, si bien debido a las duras condiciones climatológicas y al tipo de suelo, llevan a que el cultivo de estas tierras se haga bianual, es decir, un manejo de barbecho y vez, siendo la especie cultivada en los últimos años la veza (*Vicia sativa* L.). Debemos tener en cuenta que la recogida de muestras se realizó después de un año completo de barbecho, y en éste podemos encontrar plantas silvestres como la capitana (*Salsola Kali* L.).

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL.

En el presente trabajo se han analizado 4 unidades diferentes de suelos, correspondientes a 4 comarcas del Alto Aragón (Sobrarbe, Somontano de Barbastro, Hoya de Huesca y Bajo Cinca) distribuidas según un gradiente N-S. En cada una de las zonas estudiadas se han seleccionado una superficie agrícola y otra forestal, con un mismo perfil edáfico, y se ha realizado un muestreo sistemático tomando 8 muestras en la misma parcela agrícola y 8 muestras en la misma parcela forestal. En la localidad de Fragen-Sobrarbe se ha realizado una recogida de muestra compuesta de diferentes zonas forestales y agrícolas, todas ellas con el mismo perfil tipo.

Las unidades de suelo seleccionadas fueron:

- ✓ Cambisol areni-eútrico (CM ar-eu), para todos los suelos agrícolas, en el municipio de Fragen, en el Sobrarbe.
- ✓ Cambisol eútrico (CM eu), Cambisol areni-eútrico (CM ar-eu) y Cambisol lepti-eútrico (CM le-eu), para los suelos forestales, en el municipio de Fragen, en el Sobrarbe.
- ✓ Calcisol hipercálcico (CL cch), en el municipio de Arascués, en la Hoya de Huesca.
- ✓ Calcisol crómico-endopétrico (CL cr-ptn), en el T. M. de Castellazuelo, en el Somontano de Barbastro.
- ✓ Regosol léptico-calcárico (RG le-ca), en el T. M. de Salas Bajas, en el Somontano de Barbastro.
- ✓ Leptosol calcárico (LP ca), en el T. M. de Fraga, en el Bajo Cinca.

Los tipos de cultivo presentes en cada una de las zonas seleccionadas permite reunirlos en 4 grupos:

- ✓ En Fragen se desarrolla el pastoreo, por tanto, la práctica del no laboreo.
- ✓ En la Hoya de Huesca se realiza monocultivo de cereal mediante laboreo convencional.
- ✓ En el Somontano se cultiva el viñedo, utilizándose el laboreo vertical.
- ✓ En Fraga se lleva a cabo la rotación de leguminosa forrajera y barbecho.

3.3 MUESTREO y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.

El muestreo en campo se llevó a cabo tomando aproximadamente 1 Kg de **muestra alterada** del horizonte A, de los primeros 15 a 20 cm del perfil del suelo, con la ayuda de una barrena. Se introdujeron en bolsas y cada una de ellas se etiquetó para su mejor identificación en el laboratorio.

Las muestras una vez en el laboratorio deben ser preparadas para su posterior análisis y conservación. Primeramente, se procedió con el secado. Para ello, las muestras alteradas de suelo se extendieron lo máximo posible sobre papel de periódico, a fin de favorecer el proceso, y se mantuvieron así hasta alcanzar el equilibrio con la humedad atmosférica.

Seguidamente, viene el proceso de tamizado, con el que se separan los elementos gruesos de la tierra fina. Para ello se utilizó un tamiz de 2 mm de luz y un rodillo de madera. La muestra se extiende sobre un papel y se pasa el rodillo, de este modo, se desmenuzan los agregados. Sin embargo, no debe ejercerse demasiada presión para no romper las partículas de roca. Es recomendable ir retirando a mano los elementos gruesos mayores, para que el rodillo pueda actuar sobre los elementos de menor tamaño. Una vez desmenuzada la muestra, se pasa por el tamiz, obteniendo la tierra fina (de Ø inferior a 2 mm). Esta operación se repetirá tantas veces como sea necesario hasta diferenciar completamente ambos elementos, piedras y tierra fina.

Finalmente, la tierra fina se mezcla bien y se introduce en una tarrina de plástico, convenientemente etiquetada y se procede a su almacenamiento hasta que sea requerida para su analítica.

No obstante, para los análisis para la obtención de la Materia Orgánica Total (MOT), del Carbono Orgánico oxidable (COox) y de la Materia Orgánica Recalcitrante (MOR) se requirió que la muestra de suelo estuviera seca y triturada, para lo cual, fue necesario utilizar un molinillo. Una porción del suelo seco de al menos 200 g se trituró y se introdujo en unos botes de plástico, los cuales fueron etiquetados con la misma “referencia” que presentaban las tarrinas de plástico de origen.

3.4 DETERMINACIONES EN EL LABORATORIO.

3.4.1 MATERIA ORGÁNICA TOTAL (MOT).

El método más utilizado para la obtención de la Materia Orgánica Total (MOT) es una gravimetría indirecta, con la que se evalúa la pérdida de peso de una muestra de calcinar la muestra.



Figura 6. Crisoles de porcelana.

El procedimiento seguido es el propuesto por Huerta *et al.* (2010) y consiste en pesar, lo más exactamente posible y por duplicado, 1,5 g de la muestra orgánica, seca y triturada, y colocarla en un crisol de porcelana seco y pesado, que previamente ha sido calcinado en la mufla a 470 °C durante media hora. Una vez introducida la muestra a analizar en el crisol, éste se lleva de nuevo a la mufla a 560 °C, dejándose durante 4 horas. Pasado este tiempo, se retira el crisol y se deja enfriar dentro de un desecador. Transcurrido 15 min se vuelve a pesar el crisol.

El porcentaje de MOT de la muestra vendrá indicado por la diferencia de peso, que normalmente se expresa sobre la materia seca, así:

$$\% \text{ MOT} = \frac{P_{\text{seco}} - P_{\text{cenizas}}}{P_{\text{seco}}} \times 100$$

Siendo:

P_{seco} : Peso inicial de la muestra seca y molida (g).

P_{cenizas} : Peso de las cenizas (g).

Para convertir la Materia Orgánica Total en Carbono Orgánico Total se ha utilizado el factor propuesto por Van Bermmelen de 1,724, el cual asume que el 58% de la Materia Orgánica está compuesto por Carbono.

$$\% \text{ MOT} = \% \text{ COT} \times 1,724$$

3.4.2 MATERIA ORGÁNICA PARTICULADA (MOP).

La fracción macroorgánica ha sido obtenida de acuerdo con la metodología sugerida por Huerta et al. (2010). Según ésta, primeramente, es necesario disgregar los agregados del suelo para posteriormente separar las fracciones resultantes por diferencia de densidad. Este procedimiento inicial es exclusivamente físico. La analítica comienza por pesar 10 g de muestra de suelo sin triturar, que se transfieren a tubos de centrifugadora a los que se le añaden 25,0 ml de NaCl 0,05M, que actuará de agente dispersante. A continuación, se agitan las muestras con un agitador rotador de tubos a 30 rpm durante 2 h. Transcurrido este tiempo, se filtra utilizando un tamiz de 53 μm , recogiendo una mezcla de arena y de MO libre o particulada.

Los tamices con las muestras se secan en la estufa (80 °C) hasta peso constante. Posteriormente, se separa la muestra del tamiz, se pesa y se calcinan en una mufla a 560 °C durante 4 h. Una vez enfriadas, se pesan de nuevo para obtener el contenido de carbono. Las muestras fueron preparadas por duplicado.



Figura 7. Agitador rotador de tubos.

El porcentaje de Materia Orgánica Particulada (MOP) de la muestra vendrá indicado por la diferencia de peso, que normalmente se expresa sobre la materia seca, así:

$$\% \text{ MOP} = \left(\frac{(P_{80^{\circ}\text{C}} - P_{\text{cenizas}})}{P_{80^{\circ}\text{C}}} \right) \times \left(\frac{P_{80^{\circ}\text{C}}}{P_{\text{Sinical}}} \right) \times 100$$

Siendo:

P_{Sinical} : Peso inicial de la muestra seca, sin triturar (g).

$P_{80^{\circ}\text{C}}$: Peso de la muestra seca a 80°C (g).

P_{cenizas} : Peso de las cenizas (g).

Para convertir la Materia Orgánica Particulada en Carbono Orgánico Particulado se ha utilizado el factor propuesto por Van Bermmelen de 1,724.

$$\% \text{ MOP} = \% \text{ COP} \times 1,724$$

3.4.3 CARBONO ORGÁNICO DISUELTO EN AGUA FRÍA Y EN AGUA CALIENTE (CODf y CODc).

El Carbono Orgánico Disuelto (COD), extraíble tanto en agua fría como en agua caliente, se determina con las muestras de campo sin triturar por el método modificado de Ghani et al. (2003). La extracción del COD se lleva a cabo en dos etapas. En una primera etapa se elimina el carbono del suelo fácilmente soluble en agua fría, que puede proceder de una reciente fertilización del suelo o de los residuos solubles de las plantas y excrementos de origen animal. En una segunda etapa se extraen los componentes lábiles del carbono del suelo a 80 °C durante 16 h.

Las muestras de suelo, 3 g de peso seco inalterado, se pesaron por duplicado y vertieron en tubos de centrifugadora de 50 ml de polipropileno, a los que se le añadieron 30 ml de agua destilada. Para la extracción se mantuvieron agitados durante 30 min en un agitador rotador de tubos a 30 rpm. Posteriormente, los tubos fueron centrifugados durante 10 min a 2500 rpm y todo el sobrenadante se filtra a través de un filtro de membrana de nitrato de celulosa de 0,45 μm en viales separados para el análisis del carbono. Esta fracción del carbono orgánico del suelo se clasificó como Carbono Orgánico Disuelto en agua fría (CODf).



Figura 8. Centrifugadora.

Para la obtención de la fracción de Carbono Orgánico Disuelto en agua caliente (CODc), otros 30 ml de agua destilada se añadieron a la muestra en los mismos tubos de centrifugadora. Después los tubos se incuban durante 16 h en un baño de agua caliente a 80 °C. Al final del proceso de extracción, los tubos fueron centrifugados durante 10 min a 2500 rpm. El sobrenadante fue filtrado a través de filtros de membrana de nitrato de celulosa de 0,45 µm y guardado en viales separados para su posterior análisis.

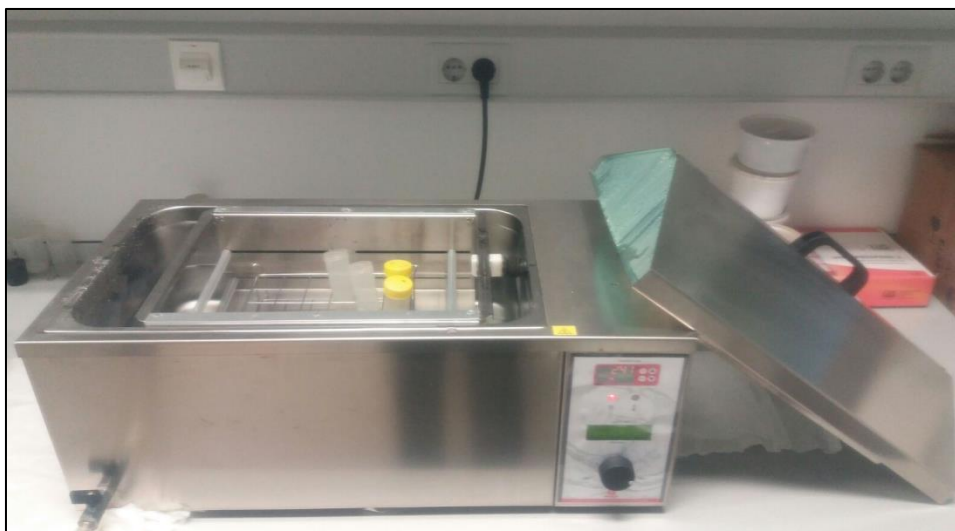


Figura 9. Incubadora.

El procedimiento de análisis para la determinación del COD, se realiza por oxidación por vía húmeda del extracto acuoso. En ambas extracciones, comienza por pipetear 6 ml del sobrenadante filtrado obtenido a un tubo de ensayo (Pyrex). A continuación, se añaden 2 ml de $K_2Cr_2O_7$ 66,7 mM y 7 ml de mezcla ácida (ácido ortofosfórico y ácido sulfúrico). Se agitan los tubos de ensayo en un agitador de vórtice durante 5 s y se procede a la digestión de la muestra durante 30 min a una temperatura de 60 °C. Las muestras se prepararon por duplicado. Junto con las muestras procedentes del suelo, se prepararon igualmente los blancos, uno de los cuales se sometió al proceso de calentamiento y el otro tubo de blanco se dejó a temperatura ambiente. Después de la digestión, se dejan enfriar los tubos de ensayo y se van trasvasando su contenido a unos Erlenmeyer de 250 ml, a los que se le añade 20 ml de agua destilada, medidos con una probeta, repartidos en dos tandas. Entonces, se añaden de 3 a 4 gotas de indicador de ferroína ($C_{36}H_{24}FeN_6^{+2}$) 0,025 M y se comienza a valorar el exceso de ácido con solución de sal de Mohr ($(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) 0,04 N. El punto de viraje se alcanza cuando la muestra pasa de color verde o amarillo-anaranjado a color rojizo.

Para el cálculo del Carbono Orgánico Disuelto en frío y en caliente (mg/ml) se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{COD} = \frac{(V_{bc} - V_{sm}) (V_m \times F_{cr} \times 1000)}{(V_{ba} * 0,4 \times V_d) \times 1000}$$

Siendo:

V_{bc} : Volumen de sal de Mohr consumido por el blanco calentado (ml).

V_{sm} : Volumen de sal de Mohr consumido por el blanco a temperatura ambiente (ml).

V_m : Volumen de sal de Mohr consumido por la muestra (ml).

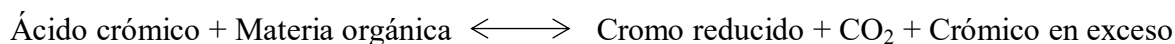
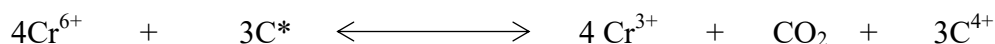
V_{ba} : Volumen de $K_2Cr_2O_7$ 66,7 mM utilizado, en nuestro caso 2 ml.

V_d : Volumen de muestra utilizado, en nuestro caso 6 ml.

F_{cr} : Factor de conversión en la reducción del Cr^{6+} a Cr^{3+} . Este valor es de 3.

3.4.4 CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE (COox).

Para la determinación del Carbono orgánico oxidable (COox) se emplea el método de oxidación parcial del suelo por el ión Cr^{6+} , en medio ácido, y valorando el exceso de ácido crómico por medio de una sal de hierro (sal de Mohr). Esquemáticamente:



El procedimiento seguido ha sido el propuesto por Nelson y Sommers (1982), que consiste en pesar una muestra de 150 mg, seca y triturada, e introducirla en un tubo de ensayo (Pyrex), evitándose que queden partículas de suelo adheridas a las paredes del tubo. Todas las muestras para la prueba se realizarán por duplicado. A continuación, se añaden 10 ml de H_2CrO_4 0,4 N y se pasan los tubos con la muestra y el reactivo al digestor, a una temperatura de 150 °C. Permanecerán en éste durante 5 min, y transcurrido este tiempo, se pasan rápidamente a enfriar, sumergiendo los tubos en agua fría.



Figura 10. Material utilizado para llevar a cabo la valoración.

Una vez fríos, se trasvasará todo el contenido de los tubos a un Erlenmeyer de 250 ml, diluyéndose éste con agua destilada hasta 100 ml. Seguidamente, se añaden de 3 a 4 gotas de indicador de ferroína ($\text{C}_{36}\text{H}_{24}\text{FeN}_6^{+2}$) 0,025 M y se lleva a cabo la valoración con solución de sal de Mohr ($(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 0,04 N. El punto de viraje se alcanza cuando la muestra pasa de color verde o amarillo-anaranjado a color rojizo. Junto con las muestras a analizar, se habrán de preparar los blancos, por duplicado también, los cuales sólo contendrán 10 ml de H_2CrO_4 0,4 N.

El contenido de COox se obtendrá de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\% \text{COox} = \frac{(B - U)}{B} \times \frac{1,2}{n}$$

Siendo:

B: Volumen de sal de Mohr consumido por el blanco (ml).

U: Volumen de sal de Mohr consumido por la muestra (ml).

n: Peso inicial de la muestra de suelo (g).

3.4.5 MATERIA ORGÁNICA RECALCITRANTE (MOR).

El método utilizado para determinar el Materia Orgánica Recalcitrante (MOR) está basado en el propuesto por Rovira y Vallejo (2007). Se comienza por pesar 450 mg de muestra de suelo seco y triturado, la cual se vierte en un tubo de ensayo (Pyrex). Las muestras para analizar se pesan por duplicado. Se continúa el proceso añadiéndose a cada tubo de ensayo 20 ml de HCl 6M, repartidos en dos tandas de 10 ml, y se pasan los tubos a un digestor que estará a una temperatura de 105 °C. Transcurrida una hora, se procede a tapar los tubos con una doble capa de parafina, y se dejan digiriéndose 17 horas más a 105 °C.

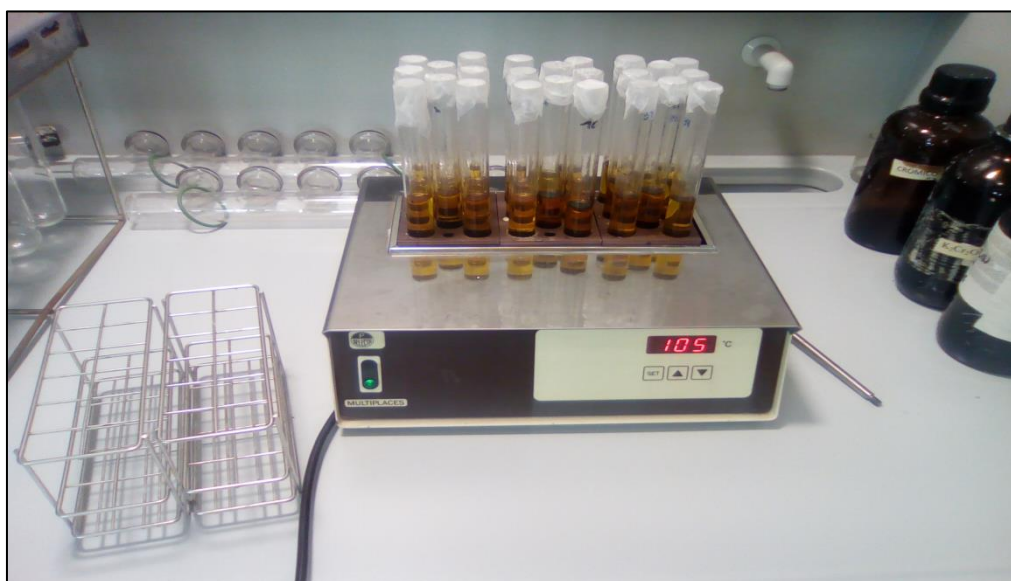


Figura 11. Vista del digestor.

Transcurrido este tiempo, se dejan enfriar y se da paso al lavado del resultante, para lo cual se necesitarán crisoles filtrantes y tarados, y al menos 60 ml de agua destilada. Una vez retirado el sobrenadante, el resto de muestra que ha quedado en el crisol se seca en una estufa durante 24 h a 60 °C hasta peso constante, y se procede a su pesado, tras lo cual, se pasan a calcinar en una mufla a 560 °C durante 4 h. Una vez enfriadas, se pesan de nuevo.

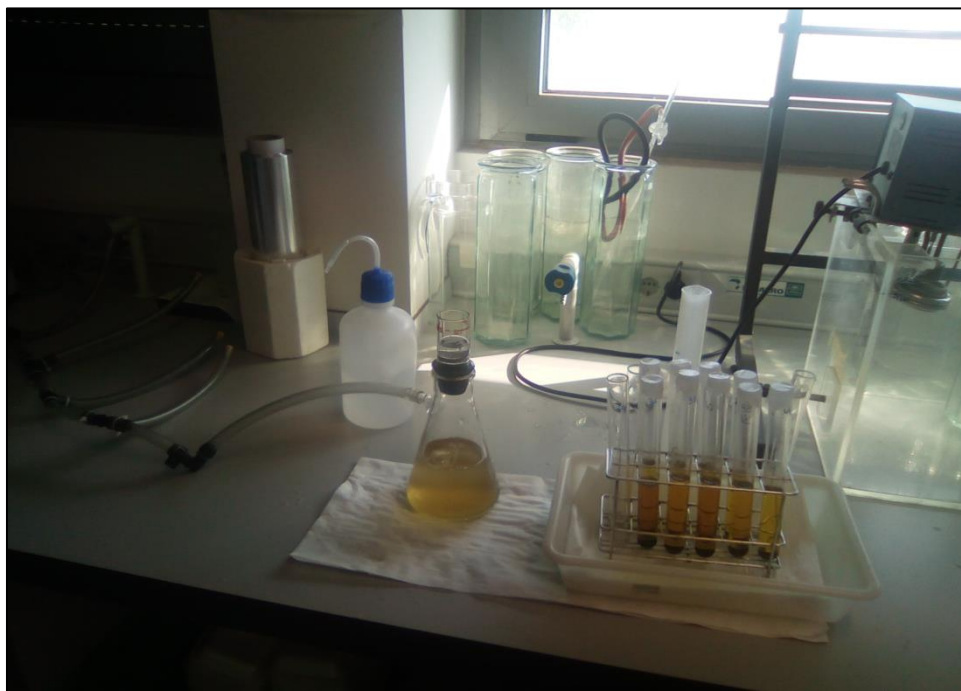


Figura 12. Material utilizado para realizar el lavado de la muestra.

Para obtener el porcentaje de MOR se utilizará la siguiente expresión:

$$\% \text{ MOR} = \left(\frac{(\text{Phidrolizado} - \text{Pcenizas})}{\text{Phidrolizado}} \right) \times \left(\frac{\text{Phidrolizado}}{\text{PSinicial}} \right) \times 100$$

Donde:

$P_{\text{hidrolizado}}$: Peso de la muestra tras el secado a 60 °C (g).

P_{cenizas} : Peso las cenizas, tras la calcinación a 560 °C (g).

P_{Sinicial} : Peso inicial de la muestra de suelo (g).

Para convertir la Materia Orgánica Recalcitrante en Carbono Orgánico Recalcitrante se ha utilizado el factor propuesto por Van Bermmelen de 1,724, el cual asume que el 58% de la Materia Orgánica está compuesto por Carbono.

$$\% \text{ MOR} = \% \text{ COR} \times 1,724$$

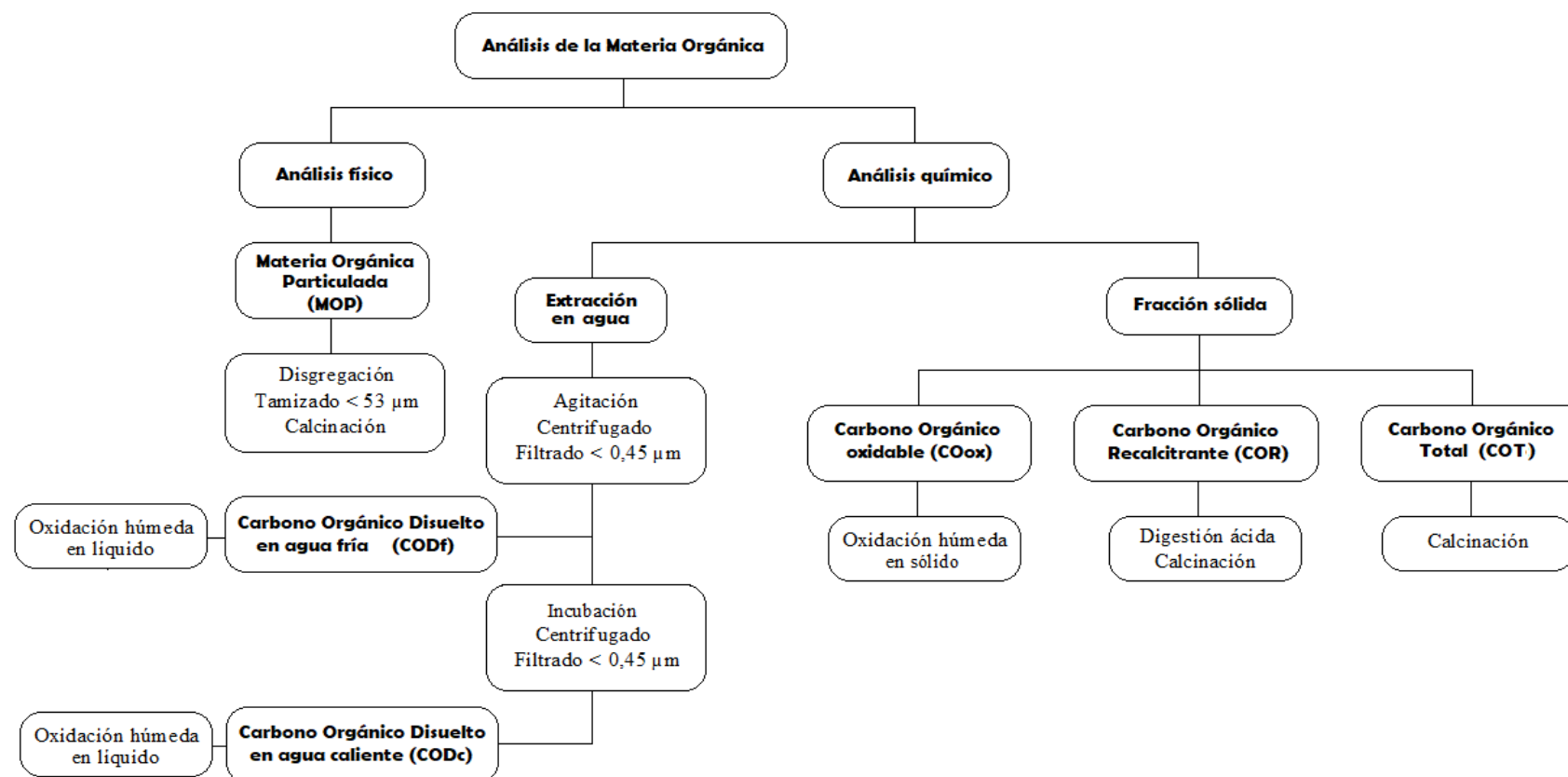


Figura 13. Diagrama resumen del procedimiento analítico.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Los resultados de la MOS y cada una de sus fracciones se sometieron a un análisis de varianza, y para el cálculo de las diferencias de medias entre los tratamientos se utilizó la prueba de mínimas diferencias significativas (MDS) a un nivel de probabilidad del 95% ($p < 0,05$), para comparar con las condiciones naturales. El programa utilizado ha sido el paquete estadístico StatView version 5.0.

4. RESULTADOS y DISCUSIÓN.

4.1 CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT) DEL SUELO.

El contenido de COT en los suelos estudiados ha oscilado para los suelos forestales entre 35,30-80,66 gCO/kg de suelo, y por lo que respecta a los suelos agrícolas, han presentado un rango entre 23,63-65,85 gCO/kg de suelo.

COT (g/kg)	Fragen	Hoya de Huesca	Somontano I	Somontano II	Fraga	<i>p</i>
Agrícola	45,00 ± 7,95 b	27,72 ± 7,78 c	53,48 ± 16,11 ab	23,63 ± 3,83 c	65,85 ± 2,14 a	< 0,0001 **
Forestal	56,70 ± 10,49 b	59,66 ± 12,78 b	49,61 ± 12,23 b	35,30 ± 7,46 c	80,66 ± 8,94 a	< 0,0001 **
<i>p</i>	0,097 n-s	0,0001 **	0,7041 n-s	0,016 *	0,04 *	

Tabla 5. Valores medios y desviación estándar del COT (g/kg suelo) de acuerdo a su lugar de muestreo y uso del suelo. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre diferentes lugares de muestreo (Test LSD de Fisher, $p < 0,05$).

En la **Tabla 5** se exponen los valores obtenidos para el contenido del COT y su dispersión en cada una tipo de suelo y en cada localidad. Según los resultados obtenidos se aprecian diferencias significativas entre los distintos lugares de muestreo para cada uno de los diferentes usos. De acuerdo al uso forestal, se han diferenciado tres grupos ($p < 0,0001$), el suelo de Fraga destaca por ser el que mayor contenido de COT presenta con 80,66 gCO/kg de suelo. Entre los suelos de la Hoya de Huesca, Fragen y Somontano I no se han encontrado diferencias significativas, estando su contenido de COT entre 49,61-59,66 gCO/kg de suelo. El menor contenido en COT lo presenta el suelo de Somontano II con 35,30 gCO/kg de suelo. No se observa una variación de los contenidos de COT según un gradiente N-S.

Por lo que respecta al uso agrícola, se han discriminado cuatro grupos de suelos según su zona de muestreo ($p < 0,0001$). Fraga es la zona que más alto contenido de COT muestra con 65,85 gCO/kg de suelo; mientras que son las zonas de la Hoya de Huesca y Somontano II las que de menor contenido de COT tienen, presentando un rango de 23,63-27,72 gCO/kg de suelo. La cantidad de COT en el Somontano I ha sido 53,48 gCO/kg de suelo, si bien sus datos tienen una elevada desviación estándar, $\pm 16,11$. En Fragen, el contenido de COT ha sido de 45,00 gCO/kg de suelo. Con estos contenidos de COT, no podemos afirmar que exista una variación según un gradiente N-S.

Romanyà *et al.* (2007) indicaron que los suelos agrícolas se caracterizan por contener menores cantidades de materia orgánica que los suelos forestales. Así lo corroboran nuestros datos, puesto que en todas zonas de muestreo, excepto en la de Somontano I, los suelos agrícolas se han distinguido por contener menores valores de COT que los suelos forestales, hallándose además diferencias significativas ($p < 0,05$) en las zonas de la Hoya de Huesca, Somontano II y Fraga. No obstante, revisando los niveles críticos de la materia orgánica del suelo que propone la bibliografía, un contenido de COT de un 1%, representaría el umbral que por debajo del cual, las cosechas no podrían ser mantenidas aun cuando se aplicaran fertilizantes sintéticos, debido al bajo contenido de N mineralizable (Loveland y Webb, 2003). En el mismo estudio, llevado a cabo en el Reino Unido, marcaron un umbral del 2% de COT como valor por el que se pueden originar pérdidas importantes de calidad del suelo si no es alcanzado (Loveland y Webb, 2003); en concreto, por debajo de este valor la estabilidad estructural disminuye mucho (Greenland *et al.*, 1975). Por su parte, Malinda (1995) en un estudio llevado en Australia observó un incremento importante de pérdida de suelo por debajo del 1,6% de COT. Por tanto, según los datos obtenidos en el presente trabajo, se aprecia que la totalidad de los suelos agrícolas considerados superan estos tres umbrales.

En cuanto a las pérdidas en el contenido de COT debidas al cambio de uso, en la zona de la Hoya de Huesca alcanzan algo más del 50%, y es la que ha presentado un mayor descenso en el contenido de COT del suelo agrícola respecto al forestal. En el Somontano II la diferencia fue del 30%. En las zonas de Fraga y Fragen estuvo entorno al 20, siendo un 3% menor la pérdida en Fraga que en Fragen. Sin embargo, en la zona de Somontano I, el suelo agrícola tuvo un 8% más de contenido de COT que el suelo forestal, pero no se encontraron diferencias significativas entre ambos contenidos.

Francaviglia *et al.* (2017) estudiaron como afectó el uso de la tierra en las fracciones del carbono orgánico en ecosistemas mediterráneos en Cerdeña y obtuvieron unas pérdidas en el contenido del COT de un bosque de alcornoques en producción de corcho y ocasionalmente pastoreado respecto a un viñedo en laboreo vertical del 25%, la cuales son semejantes a las obtenidas en nuestro estudio en la zona de Somontano II. Cuando compararon la diferencia entre el mismo bosque con pastizales, no obtuvieron diferencias significativas por el cambio de uso, tal y como hemos observado en nuestro estudio.

Si ordenamos las zonas en función de las pérdidas señaladas, de menor a mayor:

Somontano I > Fraga > Fragen > Somontano II > Hoya de Huesca

Y ahora tipificamos los cultivos y tipo de laboreo que se desarrolla en cada zona (**Figura 14**):

Bosque > Viñedo I (LV) > Veza y vez (LC y NL) > Pastos (NL) > Viñedo II (LV) > Cereal (LC)

Por tanto, la tendencia nos indica que la intensificación en la gestión de los suelos agrícolas está dando como resultado una disminución destacable en el contenido de COT, tal y como apreciaron Maljean *et al.* (2004) en sus estudios sobre las prácticas en los usos del suelo en Europa. Según Six *et al.* (2000) y McLauchlan (2006) el laboreo o cualquier otra alteración del suelo puede causar una pérdida de la reserva del COT a través de la disgregación de los agregados, puesto que las moléculas orgánicas estarán expuestas al ataque biológico o al ambiente.

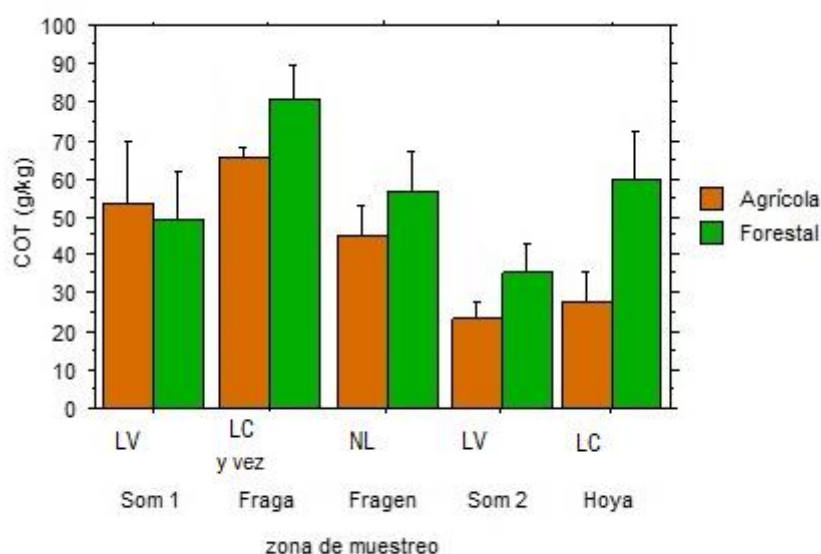


Figura 14. Contenidos de COT (g/kg de suelo) según lugar de muestreo y gestión del suelo.

Donde: LV, es laboreo vertical; LC, es laboreo convencional; NL, es no laboreo.

La Hoya de Huesca donde la intensificación es más importante, al realizarse el monocultivo de cereal mediante el laboreo convencional, es la que mayores pérdidas registra, con un 50%. En la zona de Somontano II, en la que se cultiva el viñedo, las pérdidas en el contenido de COT alcanzaron el 30%, sensiblemente menores a las anteriores, debido a que la práctica del laboreo vertical es menos agresiva que el laboreo

convencional, al alterarse solamente la zona superficial del suelo. En Fragen, donde se lleva a cabo ningún laboreo, al tratarse de pastos, pese a tener un 20% de pérdida, los contenidos no difieren significativamente con los del suelo forestal. En Fraga, la rotación de cultivo (laboreo convencional) y barbecho se ha mostrado más acertada, aunque las pérdidas hayan sido del 20%. Pero son muy inferiores a las que registra la zona de la Hoya de Huesca. La introducción del barbecho, por tanto, el no laboreo, ha provocado que el suelo tienda a comportarse como en Fragen, en lugar de mostrar una grave degradación orgánica como cuando se realiza el laboreo convencional sucesivamente.

4.2 CARBONO ORGÁNICO PARTICULADO (COP) DEL SUELO.

Los valores obtenidos para el contenido de COP en el presente trabajo variaron, en los suelos forestales, desde 7,08 a 13,12 g/kg de suelo. Respecto a los suelos agrícolas, la fluctuación de los contenidos fue de 0,7 a 8,90 gCO/kg de suelo.

COP (g/kg)	Fragen	Hoya de Huesca	Somontano I	Somontano II	Fraga	<i>p</i>
Agrícola	5,71 ± 1,61 b	0,70 ± 0,43 c	1,42 ± 0,87 c	1,27 ± 0,35 c	8,90 ± 1,24 a	< 0,0001 **
Forestal	8,92 ± 3,08 b	15,48 ± 4,80 a	7,08 ± 2,35 b	7,10 ± 4,26 b	13,12 3,10 ab	0,0039 **
<i>p</i>	0,08 n-s	< 0,0001 **	0,0015 **	0,0237 *	0,08 n-s	

Tabla 6. Valores medios y desviación estándar del COP (g/kg suelo) de acuerdo a su lugar de muestreo y uso del suelo. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre diferentes lugares de muestreo (Test LSD de Fisher, $p < 0,05$).

De acuerdo con lo expuesto en la **Tabla 6**, donde se muestran los valores medios en los contenidos del COP y su dispersión, se advierten diferencias significativas entre las distintas zonas de muestreo para cada uno de los diferentes usos de los suelos. Por un lado, en el uso forestal, se han diferenciado tres grupos ($p < 0,005$). El suelo de la Hoya de Huesca es el que presenta un mayor contenido de COP, con 15,48 gCO/kg de suelo. Con un contenido similar, está el suelo de Fraga con 13,12 gCO/kg de suelo. El tercer grupo lo conforman los suelos de Somontano II, Fragen y Somontano I, entre los que no hubo diferencias significativas y su rango está entre 7,08-8,9 gCO/kg de suelo. Por tanto, la variación en el contenido de COP no sigue un gradiente N-S.

Por otra parte, en el uso agrícola, se han separado igualmente tres grupos según su zona de muestreo ($p < 0,0001$). De todos los suelos agrícolas, la zona de Fraga es la que mayor contenido de COP muestra con 8,90 gCO/kg de suelo. En Fragen, el contenido de COP alcanza 5,71 gCO/kg de suelo. Entre las zonas de Somontano I, Somontano II y la Hoya de Huesca no se muestran diferencias significativas y su rango de COP está entre 1,42-0,70 gCO/kg de suelo. Por consiguiente, el contenido de COP no se rige por un gradiente N-S.

Los suelos forestales en todos los casos han mostrado mayor contenido de COP que los suelos de uso agrícola, encontrándose además diferencias significativas ($p < 0,05$) en las zonas de Somontano I, Somontano II y la Hoya de Huesca debidas al cambio de uso. La bibliografía nos indica que ello es debido a la alta sensibilidad que muestra esta fracción a las prácticas de manejo (Galantini, 2001; Chen *et al.*, 2009). El cambio de uso ha supuesto una reducción en el contenido de COP, que en el caso de la Hoya de Huesca, la diferencia entre el suelo forestal y el suelo agrícola alcanza el 95%. En las zonas de Somontano I y Somontano II, el contenido de COP se redujo un 80%. Tanto en la zona de Fraga como en la de Fragen se apreció una disminución en el contenido de COP del 32-35%, pero no se encontraron diferencias significativas debidas al cambio de uso.

Balesdent *et al.* (2000) indicaron que al cultivar los suelos forestales supone una pérdida de materia orgánica, pero el factor más influyente es el laboreo ya que éste acelera la mineralización de la materia orgánica, conllevando su pérdida. La fracción lábil, y el COP como parte de ella, se muestra muy sensible a la descomposición cuando los sistemas son alterados, y de esta forma su degradación aumenta en mayor medida respecto a la de las fracciones, que bien física o químicamente, están más protegidas (Galantini *et al.*, 2004). Por otra parte, otras investigaciones recientes demuestran que el contenido del COP está relacionado con las entradas de materiales orgánicos al suelo (Dou *et al.*, 2008; Urquiza *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2017).

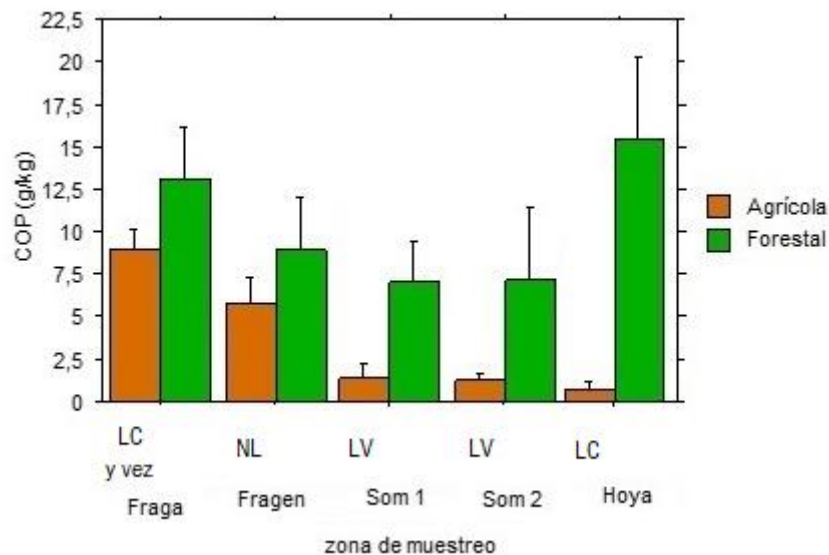


Figura 15. Contenidos de COP (g/kg de suelo) según lugar de muestreo y gestión del suelo.

Donde: LV, es laboreo vertical; LC, es laboreo convencional; NL, es no laboreo.

Si ordenamos las zonas en función de las pérdidas apuntadas, de menor a mayor (**Figura 15**):

Fraga > Fragen > Somontano I y II > Hoya de Huesca

Tipificando los cultivos y tipo de laboreo:

Bosque > Veza y vez (LC y NL) > Pastos (NL) > Viñedo (LV) > Cereal (LC)

La secuencia indica que la intensificación en el manejo de los suelos agrícolas, así como la gestión de las entradas de materia orgánica está resultando en una importante disminución en el contenido de COP. Las mayores pérdidas se han producido en la Hoya de Huesca, zona donde por un lado, se lleva a cabo el monocultivo de cereal mediante laboreo continuo, y por otra parte, el rastrojo es retirado tras la cosecha, esto explicaría que la diferencia entre el suelo agrícola respecto al forestal alcance el 95%.

En las zonas de Somontano I y II, las pérdidas en el contenido de COP igualmente han sido importantes. La gestión del suelo vuelve a tener gran importancia. La labor vertical desarrollada, aunque en menor medida que el laboreo convencional, también altera la estructura del subsuelo. A esto se suma que las entradas de materiales orgánicos también se ven muy reducidas, puesto que es práctica habitual la retirada de los restos de poda, lo que nos permite comprender el descenso del 80%.

En Fragen, al tratarse de un pasto donde no se realiza ningún laboreo, pese a presentar una pérdida del 35%, no se muestran diferencias significativas con el suelo forestal. En los pastos, su balance orgánico es mantenido tanto por el aporte de la biomasa de las plantas como por los desechos de animales, de este modo se suministran grandes cantidades de materia orgánica al suelo (Xiang *et al.*, 2017).

En Fraga, de nuevo la rotación de cultivo (laboreo convencional) y barbecho se ha mostrado adecuada, aunque las pérdidas hayan sido del 32%, pero tampoco se muestran diferencias significativas respecto al COP del suelo forestal. La introducción del barbecho, por tanto, no laboreo, ha conllevado a que el suelo tienda a comportarse como la zona de Fragen, en lugar de mostrar una grave degradación como cuando se realiza repetidamente el laboreo convencional.

La bibliografía también nos indica la importancia de la relación MOP/MOT, ya que es un principal indicador del efecto de diferentes manejos que modifican el aporte de carbono o su velocidad de descomposición (Galantini *et al.*, 2004; Noellemeyer *et al.*, 2006). Por ejemplo, Mandolesi *et al* (2002) estudiaron diferentes secuencias agrícolas durante 10 años, encontrando que la relación COP/COT fue el indicador más sensible para detectar los cambios ocurridos en el suelo.

Relación COP/COT	Fragen	Hoya de Huesca	Somontano I	Somontano II	Fraga
Agrícola	0,13	0,03	0,03	0,05	0,14
Forestal	0,16	0,26	0,14	0,2	0,16
Uso agrícola	Pasto de montaña	Cereal	Viñedo	Viñedo	Veza y vez

Tabla 7. Valores de la relación COP/COT y el uso agrícola del suelo.

En la **Tabla 7**, se muestran las relaciones entre COP/COT. En los suelos forestales, el COP representa entre el 14 y 26% del COT, mientras que en los agrícolas apreciamos dos grupos bien diferenciados. En los suelos agrícolas de Fraga y Fragen, el COP representa entre el 13 y el 14% del COT, zonas en las que menos pérdidas de COP se han registrado y más se asemejan a los suelos forestales. Por otra parte, los suelos agrícolas de la Hoya de Huesca, Somontano I y somontano II, el COP tan solo representa entre el 3 y 5% del COT. Estas zonas son las que mayores pérdidas han notado de COP debidas a manejo del suelo y a la gestión de las entradas de material orgánico.

Por tanto, la fracción del COP se ha mostrado sensible a los cambios producidos por el manejo, sobre todo a la baja tasa de entrada de material orgánico, por lo que se ha mostrado con un buen indicador en la pérdida de calidad del suelo.

4.3 CARBONO ORGÁNICO DISUELTO EN AGUA FRÍA (CODf) DEL SUELO.

Los contenidos del CODf y su dispersión para cada una de las zonas estudiadas según el uso del suelo pueden verse en la **Tabla 8**. Éstos han fluctuado entre 2,62 gCO/kg de suelo y 36,75 gCO/kg de suelo.

CODf (g/kg)	Fragen	Hoya de Huesca	Somontano I	Somontano II	Fraga	<i>p</i>
Agrícola	21,47 ± 8,89 a	2,62 ± 0,56 c	6,34 ± 1,07 bc	11,59 ± 8,32 b	28,06 ± 3,11 a	< 0,0001 **
Forestal	36,75 ± 9,22 a	17,17 ± 6,98 b	16,51 ± 3,71 b	32,88 ± 4,22 a	32,03 ± 5,67 a	< 0,0001 **
<i>p</i>	0,04 *	< 0,0001 **	0,0019 **	< 0,0001 **	0,20 n-s	

Tabla 8. Valores medios y desviación estándar del CODf (g/kg suelo) de acuerdo a su lugar de muestreo y uso del suelo. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre diferentes lugares de muestreo (Test LSD de Fisher, $p < 0,05$).

Según con los resultados obtenidos en los análisis del contenido del CODf, se aprecian diferencias significativas entre los distintos lugares de muestreo para cada uno de los diferentes usos. En los suelos de uso forestal, se han diferenciado dos grupos ($p < 0,0001$). Los suelos de Fragen, Somontano II y Fraga son los que presentan un contenido mayor de CODf, con un rango de 32,03-36,75 g/kg de suelo. El otro grupo, los constituyen los suelos de la Hoya de Huesca y Somontano I con un rango de 16,51-17,17 g/kg de suelo. Por lo tanto, los contenidos de CODf en los suelos forestales no siguen un gradiente N-S.

Analizando los suelos de uso agrícola, se han discriminado cuatro grupos según su zona de muestreo ($p < 0,0001$), y tenemos que los suelos de las zonas de Fraga y Fragen son los que muestran un mayor contenido en el CODf, con un rango de 21,48-28,06 gCO/kg de suelo. Las zonas agrícolas de Somontano II y Somontano I tienen unos contenidos de CODf entre 6,34-11,59 gCO/kg de suelo. Por último, el suelo de la Hoya de Huesca es el que menos cantidad de CODf tiene con 2,62 gCO/kg de suelo. Los contenidos de CODf tampoco se rigen por un gradiente N-S.

Todos los valores del CODf en los suelos forestales han sido superiores a los obtenidos por los suelos de uso agrícola, encontrándose además diferencias significativas ($p < 0,01$) en los contenidos de CODf por el cambio de uso en todas zonas, salvo en la zona de Fraga. Por lo tanto, el contenido de CODf se ha mostrado sensible al cambio de uso de la tierra.

Varios estudios que han comparado suelos forestales con suelos agrícolas, utilizando tanto sitios emparejados como sin ninguna relación, han confirmado que el suelo forestal produce contenidos más altos de CODf que el horizonte A de los suelos cultivados (Quideau y Brokheim, 1996; Delprat *et al.*, 1997) o de los pastizales (Quideau y Brokheim, 1997; Khomoutova *et al.*, 2000). Otros estudios también han indicado que los contenidos de CODf son más altos en los pastos que en los suelos cultivados (Flessa *et al.*, 2000; Gregorich *et al.*, 2000). Sólo unos pocos estudios han mostrado contenidos más altos de CODf en los suelos cultivados que en el resto (Quideau y Brokheim, 1996) o bien no han hallado diferencias claras entre ambos ecosistemas (Corre *et al.*, 1999). De modo que, la mayoría de los estudios indican que los contenidos de CODf, según el uso del suelo, siguen un orden decreciente:

Horizonte A forestal > Horizonte A de pastizales > Horizonte A de suelos labrados.

Chantigny (2003) apunta que este orden guarda relación con la mayor cantidad en el contenido de lignina y en la mayor relación C/N que tiene hojarasca del bosque comparado con los residuos de los cultivos agrícolas.

En nuestro estudio, la pérdida más importante debida al cambio de uso se registra en la zona de la Hoya de Huesca, donde el contenido de CODf se ha reducido en un 85%. En las zonas de Somontano I y Somontano II, el descenso en el contenido de CODf ha sido entre el 60-65%, mientras que en la zona de Fraga, la reducción ha sido del 40%. La zona que menor descenso muestra es la de Fraga con un 12% (**Figura 16**).

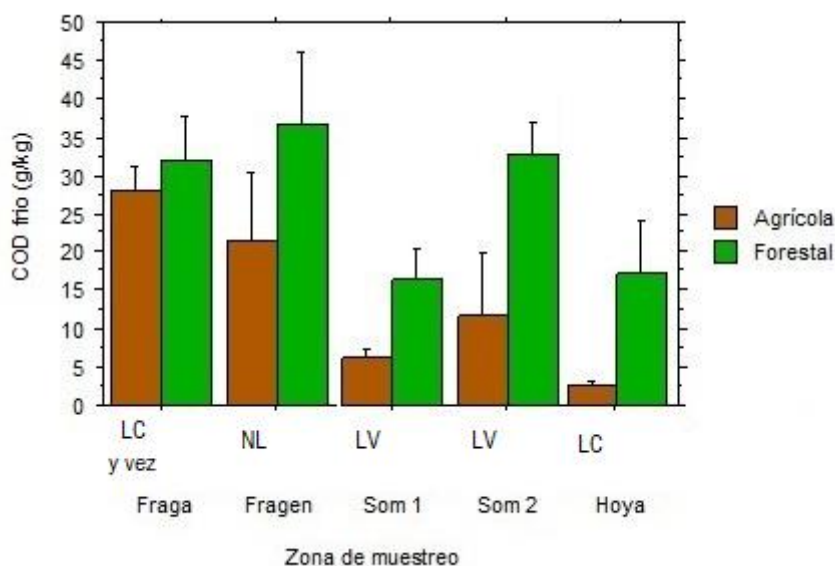


Figura 16. Contenidos de CODf (g/kg de suelo) según lugar de muestreo y gestión del suelo. Donde: LV, es laboreo vertical; LC, es laboreo convencional; NL, es no laboreo.

Si ordenamos las zonas en función de las pérdidas apuntadas, de menor a mayor:

Fraga > Fragen > Somontano I > Somontano II > Hoya de Huesca

Tipificando los cultivos y tipo de laboreo:

Bosque > Veza y vez (LC y NL) > Pastos (NL) > Viñedo (LV) > Cereal (LC)

Por lo tanto, nuestra secuencia es totalmente coincidente con la que establece la bibliografía.

Relación CODf/COT	Fragen	Hoya de Huesca	Somontano I	Somontano II	Fraga
Agrícola	0,48	0,09	0,12	0,49	0,43
Forestal	0,65	0,29	0,33	0,93	0,40
Uso agrícola	Pasto de montaña	Cereal	Viñedo	Viñedo	Veza y vez

Tabla 9. Valores de la relación CODf/COT y el uso agrícola del suelo.

En la **Tabla 9**, se muestran las relaciones entre CODf/COT. En los suelos forestales, el CODf supone entre el 29 y 93% del COT. En los suelos agrícolas apreciamos dos grupos bien diferenciados. Un primer grupo lo constituyen las zonas de Somontano II, Fraga y Fragen, en los que el CODf representa entre el 43 y el 49% del COT. A pesar que el suelo agrícola de Somontano II está incluido en el primer grupo de suelos, caracterizados por una elevada proporción de CODf, su roturación ha supuesto una gran pérdida en la fracción lábil del carbono, ya que el suelo forestal de esta misma zona muestra un 93% de CODf en relación al COT. Por lo que respecta al otro grupo de suelos agrícolas, la Hoya de Huesca y Somontano I, el CODf solamente constituye entre el 9 y 12% del COT, mientras que en los suelos forestales de estas zonas, la representatividad del CODf alcanza entre el 29 y el 33%, respectivamente.

En la zona de Fraga, no se ha producido descenso en la representatividad sino que se ha incrementado la cantidad de carbono disuelto, puesto que la ratio a favor del suelo agrícola es un 7,5%. Por lo tanto, la intensificación en el manejo del suelo se ha mostrado un factor influyente sobre el contenido de CODf en el suelo.

4.4 CARBONO ORGÁNICO DISUELTO EN AGUA CALIENTE (CODc) DEL SUELO.

Los contenidos del CODc y su dispersión para cada una de las zonas de estudio y uso de suelo pueden verse en la **Tabla 10**. Éstos han variado entre 7,14 gCODc/kg de suelo y 46,28 gCODc/kg de suelo.

CODc (g/kg)	Fragen	Hoya de Huesca	Somontano I	Somontano II	Fraga	<i>p</i>
Agrícola	32,29 ± 12,03 a	7,14 ± 1,02 b	7,47 ± 2,17 b	9,99 ± 4,72 b	39,71 ± 1,76 a	< 0,0001 **
Forestal	43,51 ± 8,00 a	30,56 ± 6,44 ab	20,86 ± 8,85 b	43,04 ± 9,73 a	46,28 ± 4,10 a	0,0004 **
<i>p</i>	0,15 n-s	< 0,0001 **	0,0259 **	< 0,0001 **	0,051 n-s	

Tabla 10. Valores medios y desviación estándar del CODc (g/kg suelo) de acuerdo a su lugar de muestreo y uso del suelo. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre diferentes lugares de muestreo (Test LSD de Fisher, $p < 0,05$).

Con los resultados obtenidos podemos apreciar diferencias significativas entre los distintos lugares de muestreo para cada uno de los diferentes usos. En los suelos de uso forestal, se han diferenciado tres grupos ($p < 0,0005$). Entre los suelos de Fraga, Fragen y Somontano II no se han apreciado diferencias significativas, comprendiendo su rango de CODc entre 43,04-46,28 gCO/kg de suelo. El segundo grupo lo integra exclusivamente el suelo de la Hoya de Huesca con un contenido de 30,56 gCO/kg de suelo. El suelo del Somontano I es el presenta el menor contenido en CODc con 20,86 gCO/kg de suelo. Los contenidos de CODc no siguen un gradiente N-S.

En los suelo de uso agrícola, se han diferenciado dos grupos según su zona de muestreo ($p < 0,0001$). Tenemos que las zonas de Fraga y Fragen son las que tienen los mayores contenidos de CODc, con una horquilla de 32,29-39,71 gCO/kg de suelo. Por otra parte, las zonas de Somontano II, Somontano I y la Hoya de Huesca tienen un rango de CODc de 7,14-9,99 gCO/kg de suelo. Los contenidos de CODc no demuestran un gradiente N-S.

En todas zonas de muestreo, los valores de CODc son mayores en los suelos forestales que en los suelos de uso agrícola, encontrándose diferencias significativas ($p < 0,01$) por el cambio de uso, en las zonas de la Hoya de Huesca, Somontano I y Somontano II. Por tanto, el contenido de CODc se ha mostrado sensible al cambio de uso.

Haynes y Francis (1993) estudiaron los contenidos del CODc y registraron mayores cantidades de éste en los suelos de pasto respecto a los suelos cultivados. Ghani *et al.* (2003) probaron que muestras de suelo recogidas en un mismo tipo de suelo pero diferente uso de la tierra tenían diferencias significativas en los niveles de CODc. Estas cantidades de CODc en el suelo presentaban el siguiente orden:

Bosque > Pastos > Suelos cultivados > Huertos.

En nuestro estudio, las zonas con mayores descensos debidos al cambio de uso son, la Hoya de Huesca y Somontano II, donde éste llega al 75%. También ha sido muy elevado en la zona de Somontano I con una caída del 65% en el contenido del CODc del suelo agrícola respecto al suelo forestal. En Fragen el descenso ha sido del 25%, aun así no se aprecian diferencias significativas en el contenido de CODc debidas al cambio de uso, como tampoco las tienen los suelos de la zona de Fraga, que tan sólo se ha reducido el contenido en CODc un 5%.

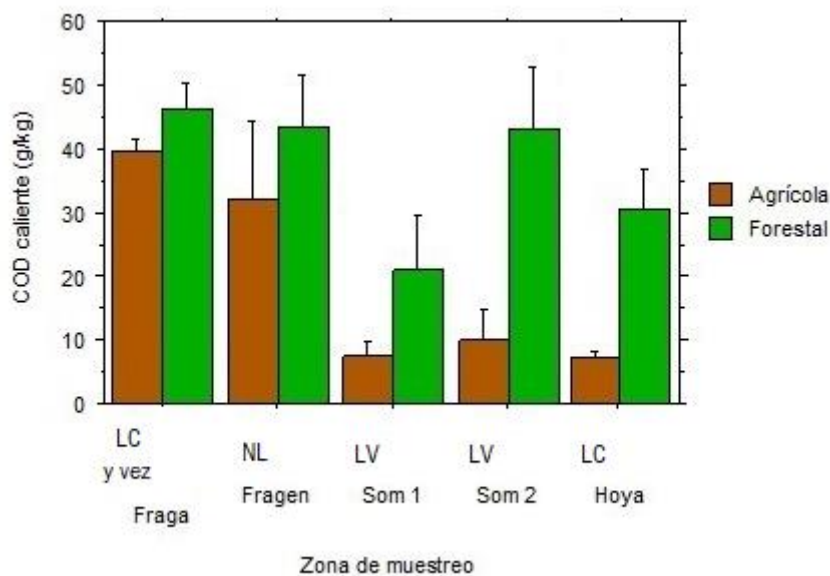


Figura 17. Contenidos de CODc (g/kg de suelo) según lugar de muestreo y gestión del suelo. Donde: LV, es laboreo vertical; LC, es laboreo convencional; NL, es no laboreo.

Si ordenamos las zonas en función de las pérdidas apuntadas, de menor a mayor (**Figura 17**), se obtiene la siguiente clasificación:

Fraga > Fragen > Somontano I > Somontano II > Hoya de Huesca

Si además tenemos en cuenta los cultivos y el tipo de laboreo, se ordenan según:

Bosque > Veza y vez (LC y NL) > Pastos (NL) > Viñedo (LV) > Cereal (LC)

Por lo tanto, nuestra secuencia es totalmente coincidente a la marcada por Ghani *et al.* (2003).

CODc (g/kg)	Fragen	Hoya de Huesca	Somontano I	Somontano II	Fraga
Agrícola	0,72	0,26	0,14	0,42	0,60
Forestal	0,77	0,51	0,42	1,12	0,57
Uso agrícola	Pasto de montaña	Cereal	Viñedo	Viñedo	Veza y vez

Tabla 11. Valores de la relación CODc/COT y el uso agrícola del suelo.

Según la **Tabla 11**, donde se muestran las relaciones entre CODc/COT, en los suelos forestales el CODc representa entre el 51 y 112% del COT. Respecto a los suelos agrícolas podemos diferenciar dos grupos. En los suelos agrícolas de Fragen, Fraga y Somontano II, donde el CODc representa entre el 42 y el 72% del COT, sin embargo la pérdida de representatividad del suelo agrícola de Somontano II respecto al forestal, alcanza a más del 50%. En el resto de suelos agrícolas de la Hoya de Huesca y Somontano I, el CODc solamente representa entre el 14 y 26% del COT. Por lo que, la intensificación en el manejo del suelo es un factor influyente sobre el contenido de CODc en el suelo.

4.5 CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE (CO_{ox}) DEL SUELO.

La fracción de carbono que posee un grado intermedio de biodegradabilidad está representada por el contenido de carbono orgánico oxidable (CO_{ox}), englobando a la mayor parte de la materia orgánica del suelo. Los resultados dependen del grado de oxidación, de la calidad (proporción de H/C) y aromaticidad de la MO del suelo.

En la **Tabla 12** se exponen los valores medios del contenido del CO_{ox} y su dispersión en cada una de las localidades estudiadas según su uso. El CO_{ox} de los suelos forestales estudiados presenta fluctuación de valores entre 12,28-28,11 gCO/kg de suelo. En los suelos agrícolas la variación es desde 2,56 a 19,94 gCO/kg de suelo.

CO _{ox} (g/kg)	Fragen	Hoya de Huesca	Somontano I	Somontano II	Fraga	<i>p</i>
Agrícola	17,64 ± 4,61 a	5,32 ± 0,44 b	5,33 ± 0,33 b	2,56 ± 0,7 c	19,94 ± 0,98 a	< 0,0001 **
Forestal	28,11 ± 8,38 a	25,45 ± 5,05 a	12,72 ± 3,70 b	12,28 ± 4,10 b	28,01 ± 3,87 a	< 0,0001 **
<i>p</i>	0,0473 *	< 0,0001 **	0,0027 **	0,0010 **	0,0182 *	

Tabla 12. Valores medios y desviación estándar del CO_{ox} (g/kg suelo) de acuerdo a su lugar de muestreo y uso del suelo. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre diferentes lugares de muestreo (Test LSD de Fisher, $p < 0,05$).

Se distinguen diferencias significativas entre los distintos lugares de muestreo y para cada uno de los diferentes usos. Según el uso forestal, se han diferenciado dos grupos ($p < 0,0001$), los suelos de Fragen, Fraga y la Hoya de Huesca, son los que mayor CO_{ox} presentan, entre los que no existe diferencias significativas y su rango está entre 25,45-28,11 gCO/kg de suelo, y por otra parte, los suelos de Somontano I y Somontano II, con un rango entre 12,28-12,72 gCO/kg de suelo, son los que menores contenidos tienen. Por tanto, los contenidos de CO_{ox} no siguen un gradiente N-S.

Si hacemos lo mismo para el uso agrícola, podemos ver que se han discriminado tres grupos según su zona de muestreo ($p < 0,0001$). Las zonas de Fraga y Fragen tienen un rango de CO_{ox} de 17,64-19,94 gCO/kg de suelo, y forman el grupo con mayor contenido de CO_{ox}. Otro grupo diferenciado lo forman las zonas de Somontano I y la Hoya de Huesca, con un contenido de CO_{ox} de 5,32-5,33 gCO/kg de suelo; y la zona de

Somontano I ha sido la que menor contenido de COox ha tenido con 2,56 gCO/kg de suelo. Los contenidos de COox tampoco se rigen por un gradiente N-S.

Los suelos forestales en todos los casos han mostrado mayor contenido de COox que los suelos en uso agrícolas, siendo además en todos los casos las diferencias significativas ($p < 0,05$), por lo que el contenido de COox se ha mostrado sensible al cambio de uso. Sin embargo, lo observado en el presente trabajo contradice lo manifestado por otros autores, ya que Buschiazzi *et al.* (1991) y Quiroga *et al.* (1996) indicaron que la materia orgánica estable es menos sensible a las prácticas agrícolas. Sin embargo, nuestros datos no difieren por los encontrados por otros autores en zonas próximas (Badía *et al.*, 2009).

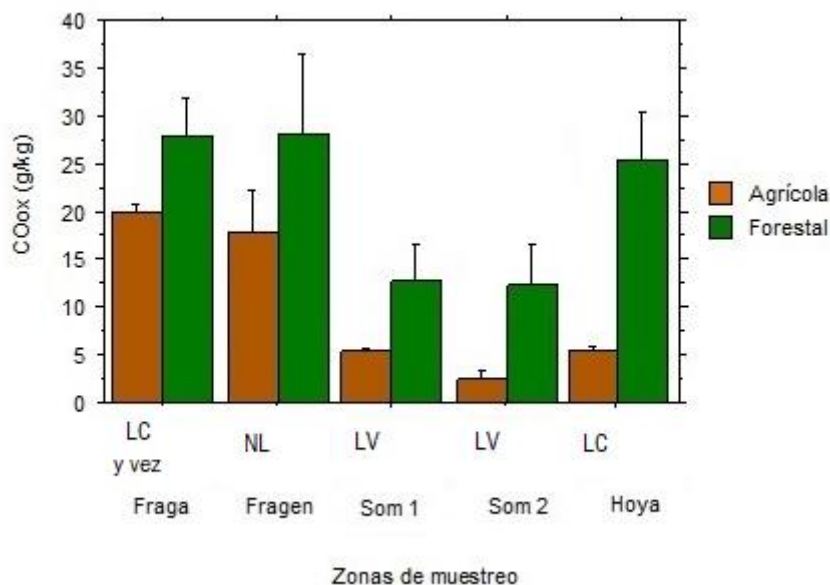


Figura 18. Contenidos de COox (g/kg de suelo) según lugar de muestreo y gestión del suelo. Donde: LV, es laboreo vertical; LC, es laboreo convencional; NL, es no laboreo.

Si ordenamos las zonas en función de las pérdidas apuntadas, de menor a mayor (**Figura 18**):

Fraga > Fragen > Somontano I > Somontano II > Hoya de Huesca

Tipificando los cultivos y tipo de laboreo:

Bosque > Veza y vez (LC y NL) > Pastos (NL) > Viñedo (LV) > Cereal (LC)

Las reducciones debidas al cambio de uso en el contenido del COox han sido mayores en las zonas de la Hoya de Huesca y Somontano II con el 79% del suelo agrícola respecto al forestal. La siguiente zona con mayor reducción de COox ha sido la de Somontano I, donde la diferencia alcanza el 58%. Tanto en los suelos de Fraga como en los de Fragen se apreció una reducción en el contenido de COox entre el 30-37%. Por lo tanto, el contenido de COox también se muestra sensible a las prácticas de manejo.

Relación COox/COT	Fragen	Hoya de Huesca	Somontano I	Somontano II	Fraga
Agrícola	0,39	0,19	0,10	0,11	0,30
Forestal	0,50	0,43	0,26	0,35	0,35
Uso agrícola	Pasto de montaña	Cereal	Viñedo	Viñedo	Veza y vez

Tabla 13. Valores de la relación COox/COT y el uso agrícola del suelo.

En la **Tabla 13** se muestran las relaciones entre COox/COT. En los suelos forestales, el COox representa entre el 26-50% del COT. Por lo que respecta a los suelos de uso agrícola, se aprecian dos grupos bien diferenciados, por una parte, los suelos agrícolas de Fraga y Fragen, el COox representa entre el 30-39%, muy semejantes a los suelos forestales. Por otro lado, las relaciones más bajas se han dado en las zonas de la Hoya de Huesca, Somontano I y Somontano II, donde el contenido COox sólo representa entre el 10-19%. Vázquez-Polo *et al.* (2011) al estudiar la influencia del cambio de uso sobre el COox obtuvieron que las relaciones COox/COT eran mayores en los suelos de bosque respecto a los suelos cultivados. Las diferencias comprendían desde un 3% hasta el 73%, si bien, en un solo caso, el suelo agrícola obtuvo mayor relación que en el forestal. Sus resultados son semejantes a los obtenidos en el presente trabajo. Por tanto, la fracción del COox se ha mostrado sensible al cambio de uso de la tierra, así como al nivel de intensificación.

4.6 CARBONO ORGÁNICO RECALCITRANTE (COR) DEL SUELO.

El contenido de COR en los suelos forestales ha oscilado entre 4,45-20,60 gCO/kg de suelo, mientras que en los suelos agrícolas el COR ha variado entre 5,53-21,56 gCO/kg de suelo.

COR (g/kg)	Fragen	Hoya de Huesca	Somontano I	Somontano II	Fraga	<i>p</i>
Agrícola	11,43 ± 6,13 b	8,90 ± 4,69 b	11,07 ± 4,06 b	5,53 ± 3,93 b	21,56 ± 5,29 a	0,0062 *
Forestal	17,40 ± 9,01 a	20,60 ± 10,84 a	4,45 ± 0,98 a	14,73 ± 8,27 a	16,61 ± 6,84 a	0,09 n-s
<i>p</i>	0,3158 n-s	0,0394 *	0,016 *	0,08 n-s	0,3453 n-s	

Tabla 14. Valores medios y desviación estándar del COR (g/kg suelo) de acuerdo a su lugar de muestreo y uso del suelo. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre diferentes lugares de muestreo (Test LSD de Fisher, $p < 0,05$).

Observando la **Tabla 14**, en la que se muestran los valores medios obtenidos en el contenido de COR de las muestras analizadas y su dispersión en cada una de sus usos estudiados, se puede apreciar que sólo en los suelos agrícolas se muestran diferencias significativas entre los distintos lugares de muestreo ($p < 0,05$). De acuerdo al uso forestal, en el que no se han determinado diferencias significativas entre las distintas zonas de muestreo, el contenido de COR comprendió entre 4,45-17,40 gCO/kg de suelo. Por ello, la variación en el contenido de COR no sigue un gradiente N-S.

Analizando los suelos de uso agrícola, se han diferenciado dos grupos según su zona de muestreo ($p < 0,05$). Tenemos por un lado, los suelos de la zona de Fraga, con el mayor contenido de COR, 21,56 gCO/kg de suelo, y el resto de suelos agrícolas (Fragen, Somontano I, la Hoya de Huesca y Somontano II) entre los que no existen diferencias significativas, con un rango de COR entre 5,53-11,43 gCO/kg de suelo. Según los resultados obtenidos, el contenido de COR no muestra una variación según un gradiente N-S.

En las zonas de estudio de Fragen, la Hoya de Huesca y Somontano I, los suelos forestales han tenido mayor contenido de COR que los suelos agrícolas. El cambio de uso ha comportado una reducción en el contenido de COR del 62% en la zona de Somontano II, del 57% en la zona de la Hoya de Huesca y de un 35% en la zona de

Fragen. No obstante, solamente en la zona de la Hoya de Huesca, la diferencia entre el suelo forestal y el agrícola ha sido significativa ($p < 0,01$).

Por otra parte, los suelos agrícolas en las zonas de Fraga y Somontano I tuvieron mayores contenidos de COR respecto a los suelos forestales. Las diferencias entre el suelo agrícola y forestal en la zona de Fraga ha sido del 23%, no encontrándose diferencias significativas entre ambos, mientras que la diferencia en la zona de Somontano I es del 60%, hallándose diferencias significativas por el cambio de uso ($p < 0,01$).

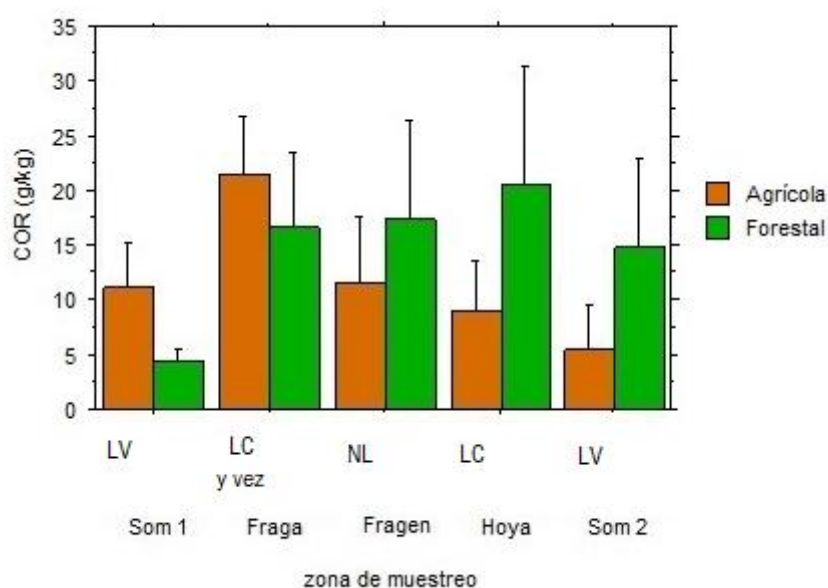


Figura 19. Contenidos de COR (g/kg de suelo) según lugar de muestreo y gestión del suelo. Donde: LV, es laboreo vertical; LC, es laboreo convencional; NL, es no laboreo.

Si ordenamos las zonas en función de las pérdidas apuntadas, de menor a mayor (**Figura 19**), se observa la siguiente distribución de las zonas de estudio:

Somontano I > Fraga > Fragen > Hoya de Huesca > Somontano II

Incorporando los cultivos y tipo de laboreo, observamos la siguiente disposición:

Bosque > Viñedo (LV) > Veza y vez (LC y NL) > Pastos (NL) > Cereal (LC) > Viñedo (LV)

Las discusiones sobre la recalcitrancia química de parte del carbono orgánico del suelo todavía son contradictorias. Así, por ejemplo, Krull *et al.* (2003) indicaron que la recalcitrancia química del carbono orgánico es el mecanismo más importante que puede proteger al mismo durante largos períodos de tiempo, pero los resultados de Marschner *et al.* (2008) sugirieron que la resistencia química, a largo plazo, no es el único mecanismo a largo plazo de estabilización de la materia orgánica del suelo. En el presente estudio, como hemos indicado arriba, se ha encontrado un menor contenido de COR en el suelo agrícola respecto al forestal en tres de las cinco zonas de estudio, lo que implica que el contenido de COR también puede verse afectado por el uso y manejo del suelo.

Por su parte, McLauchlan (2006) advirtió que las actividades agrícolas como el laboreo y la eliminación de la biomasa de los cultivos podían acelerar el agotamiento de la materia orgánica edáfica si, al mismo tiempo, se reducen las entradas, lo cual es muy desfavorable para el secuestro de carbono en los suelos. Nuestros datos concuerdan con esto último, por ello se explica que en las zonas de Somontano II y la Hoya de Huesca hayan tenido los descensos más importantes.

Relación COR/COT	Fragen	Hoya de Huesca	Somontano I	Somontano II	Fraga
Agrícola	0,25	0,32	0,21	0,23	0,33
Forestal	0,31	0,35	0,09	0,42	0,21
Uso agrícola	Pasto de montaña	Cereal	Viñedo	Viñedo	Veza y vez
Fecha de cambio de uso	s. XX	1932	Más de 100 años	Más de 100 años	1984

Tabla 15. Valores de la relación COR/COT, uso agrícola del suelo y las fechas en que tuvo lugar el cambio de uso del suelo.

En la **Tabla 15**, se muestra la relación entre COR/COT en los diferentes suelos y el tiempo que llevan cultivándose. En los suelos forestales, el COR representa entre el 21 y 42%, si descartamos la zona forestal de Somontano I, donde el COR apenas constituye el 10%. Por otra parte, en los suelos agrícolas el COR ha representado entre el 21 y 35%. En la zona de Somontano II es donde más baja la representatividad del COR del suelo forestal al agrícola, un descenso del 45%; y tras ésta, en la zona de Fragen el

descenso de representatividad es del 20%. Ambas zonas llevan más de 100 años siendo cultivadas. Sin embargo, en la zona de la Hoya de Huesca, que el cambio de uso se produjo hace 80 años, el descenso de representatividad es del 8%. En Fraga que lleva cultivándose algo más de 30 años, la representatividad del COR en el suelo agrícola es superior respecto al forestal, por tanto, fundamentalmente por la gestión de la tierra, donde la incorporación del barbecho ha sido beneficiosa, ya que se ha incrementado la cantidad de carbono incorporada al suelo. Tan *et al.* (2007) indicaron que desde el punto de vista productivo y de calidad del suelo, la dinámica de la materia orgánica total aporta muy poca información al estudio de los efectos a corto plazo de las prácticas agronómicas. Esto se debe a que las fracciones orgánicas más abundantes en el suelo son la de ciclado más lento, por lo que se requiere un plazo mayor para observar esas diferencias.

4.7 ANALISIS DE LA INFLUENCIA DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO SOBRE LAS DIFERENTES FRACCIONES DE LA MATERIA ORGANICA.

FRAGEN

La zona de Fragen presenta el suelo forestal con mayores niveles de carbono orgánico en la fracción estable, COox y en el Carbono Orgánico Disuelto en agua fría (CODf) respecto al suelo agrícola. Sin embargo, no se han observado diferencias significativas entre los contenidos de carbono orgánico de las restantes fracciones según el uso del suelo (**Figura 20**).

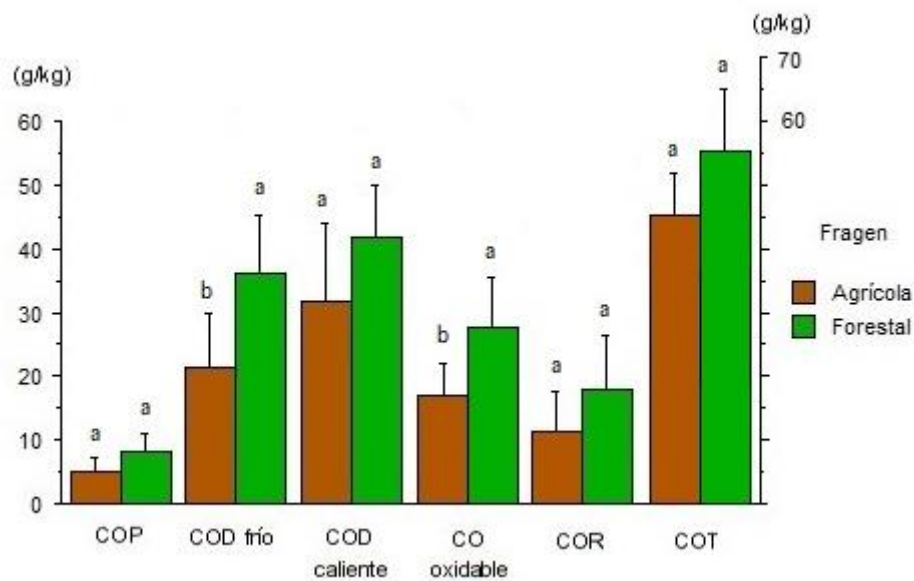


Figura 20. Valores medios del COT y sus fracciones en la zona de Fragen para cada tipo de suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el contenido de carbono de cada una de las fracciones según el uso del suelo.

Por tanto, el cambio del uso del suelo está suponiendo una variación en la calidad de la materia orgánica edáfica, más que una pérdida en su contenido global. Esto es debido a que las entradas de material orgánico está asegurado, fundamentalmente a través las raíces y los desechos de la ganadería; además de una menor alteración del suelo al no labrarse, por lo que, los pastos admitirían incrementar el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (Francaviglia *et al.*, 2017) respecto a una práctica agrícola más intensiva.

HOYA DE HUESCA

En la zona de la Hoya de Huesca, el suelo forestal muestra niveles muy superiores de Carbono Orgánico (CO) en todas las fracciones, por lo que las diferencias entre los contenidos de CO del suelo forestal y agrícola son significativas (**Figura 21**).

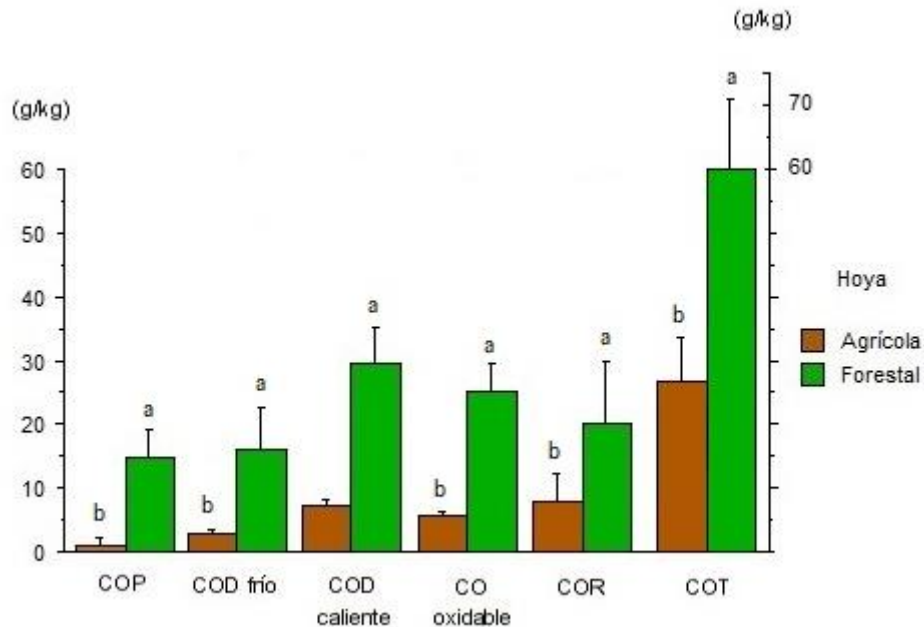


Figura 21. Valores medios del COT y sus fracciones en la zona de la Hoya de Huesca para cada tipo de suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el contenido de carbono de cada una de las fracciones según el uso del suelo.

Se puede decir que el cambio del uso del suelo ha supuesto una importante y seria pérdida en la calidad del suelo, por tanto, la tasa de mineralización es elevada. La agricultura que se ha llevado a cabo en la zona ha consistido en el laboreo continuo de cereal, sin dejar el rastrojo, con un estercolando de purín de cerdo esparcido en superficie para posteriormente enterrarlo. Así se ha mostrado como la opción menos beneficiosa. Además la bibliografía lo atestigua. Las estrategias de manejo de cultivo basadas en las prácticas de laboreo son causantes de una disminución en la materia orgánica del suelo (Dalal y Mayer, 1986; Doran, 1987), debido a una aceleración de la descomposición de residuos de cultivos incorporados dentro del suelo (Balesdent *et al.*, 1990). Sin embargo, varios estudios han informado que una reducción de la intensidad del laboreo puede disminuir o prevenir la pérdida de MOS (Six *et al.*, 1998).

Otros estudios han informado de diferencias en el COT inducidas por un laboreo continuo, especialmente cerca de la superficie del suelo (Dick, 1983; Havlin *et al.*, 1990; Franzluebbers *et al.*, 1995; Salinas-García *et al.*, 1997). De acuerdo con lo expuesto por Doran (1980) y Follet (2001), el mantenimiento de los residuos de cultivos sobre la superficie modifica el ambiente físico, químico y biológico; por lo tanto, se espera bajo estas condiciones grandes cambios en la materia orgánica del suelo, incluyendo la masa microbiana (Spedding *et al.*, 2004).

SOMONTANO I y SOMONTANO II

En ambas zonas se lleva desarrollando el cultivo de la vid durante más de 100 años, por lo que, al tratarse del mismo cultivo, vamos a comparar comportamiento que tiene la materia orgánica ante una misma gestión del territorio pero practicada en dos suelos diferentes.

En la zona de Somontano I, el suelo forestal muestra, respecto al suelo agrícola niveles superiores de carbono orgánico en las fracciones lábil (COP, CODf y CODc) y estable (COox), siendo las diferencias significativas, sin embargo, el suelo agrícola tiene un contenido significativamente mayor en la fracción inerte (COR) que el suelo forestal.

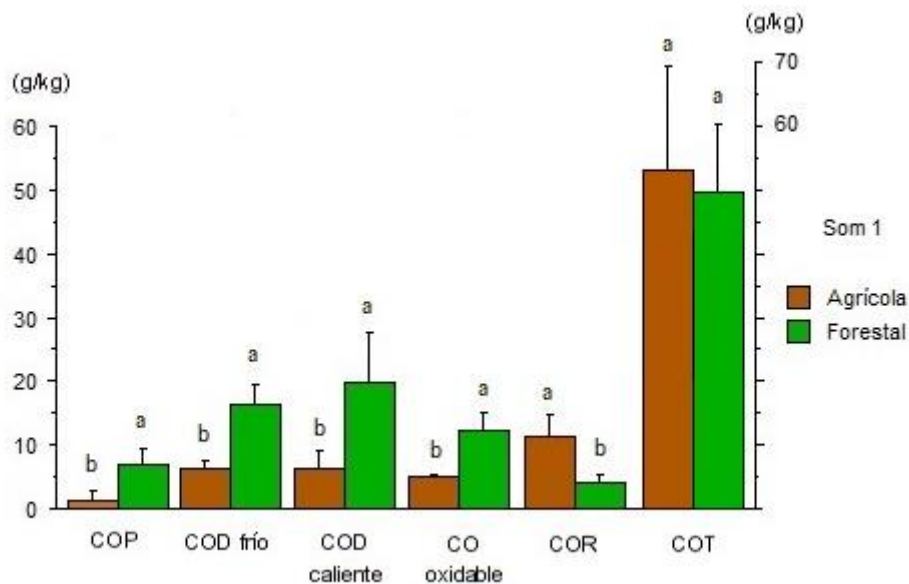


Figura 22. Valores medios del COT y sus fracciones en la zona de Somontano I para cada tipo de suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el contenido de carbono de cada una de las fracciones según el uso del suelo.

Aunque según la **Figura 22**, el cambio de uso no ha supuesto una variación significativa en el contenido de COT del suelo, dada la elevada desviación estándar que presenta este parámetro, puede que la metodología utilizada para su obtención, mediante calcinación, haya sobrevalorado esta medida, puesto que la suma de todas las fracciones sólo alcanzan el 60% de lo obtenido tras las pruebas de laboratorio.

Las prácticas culturales en el manejo del viñedo, donde se realiza un laboreo que siempre utiliza aperos verticales, que evita romper el mayor número de raíces de las cepas, y elude la formación de suela de labor, sí que rompe los agregados; y además, las entradas de materia orgánica están muy limitadas puesto que los restos de poda son retirados. Todo ello ha supuesto una importante pérdida en la calidad del suelo por el cambio del uso.

Desde el punto de vista de las fracciones de la materia orgánica, tanto las fracciones lábiles (COP, CODf y CODc) como la fracción estable (COox) presentan contenidos significativamente menores respecto al suelo forestal. Ello ha sido consecuencia del laboreo practicado, puesto que la oxigenación del suelo induce una alta tasa de mineralización. También es reseñable que el suelo agrícola presente un mayor contenido en el COR respecto al suelo forestal. Esto quizá pudiera deberse a la tasa de biomasa fúngica, la cual es superior en los suelos forestales (Alexander, 1977).

Por otra parte, en la zona de Somontano II, el suelo forestal muestra respecto al suelo agrícola niveles superiores de Carbono Orgánico (CO) en todas las fracciones, siendo además las diferencias significativas, salvo en la fracción inerte (COR). (**Figura. 23**).

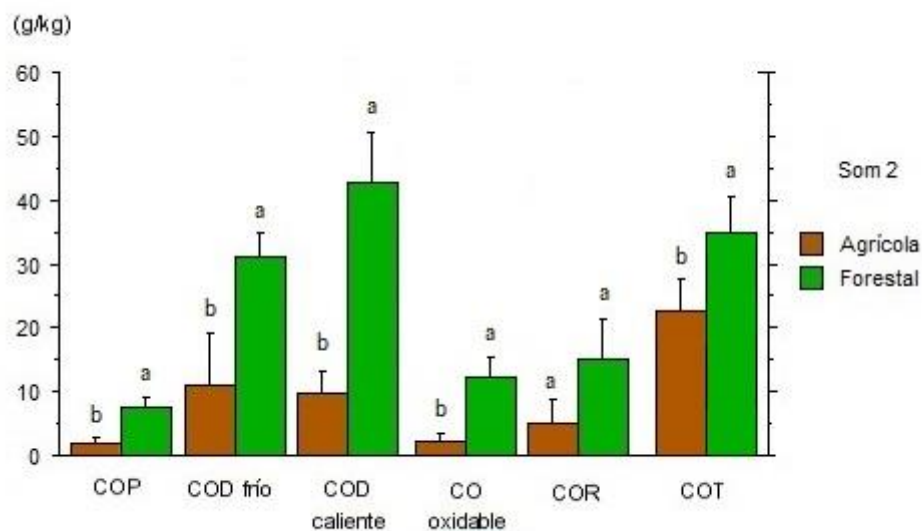


Figura 23. Valores medios del COT y sus fracciones en la zona de Somontano II para cada tipo de suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el contenido de carbono de cada una de las fracciones según el uso del suelo.

En este caso, todavía se aprecia más claramente el efecto del cambio de uso. El laboreo unido a unas tasas de entradas de material orgánico bajas, conlleva la degradación y pérdida en la calidad del suelo.

La pérdida de calidad en los suelos donde se desarrolla el cultivo de la vid (*Vitis vinifera* L.) es un problema que ha sido tratado por numerosos autores, si bien, es un cultivo que habitualmente se ha llevado practicando en zonas marginales, las cuales suelen contener bajos niveles de MO, ello acarrea otros problemas subyacentes como puede ser la erosión del suelo. El suelo puede protegerse contra la erosión mediante el uso de acolchados orgánicos, como los restos de la poda o paja (Paré *et al.*, 1999; Albiach *et al.*, 2001) o varios tipos de cortezas de árboles (Ballif, 1995), o cubiertas de pradera plantadas, parciales o completas (IOBC 1996). Estas prácticas antierosivas conllevan un aumento en el contenido de materia orgánica del suelo (Andreux *et al.*, 1996) y mejoran las características físicas del mismo (Comité Interprofessionnel des Vins de Champagne [CIVC], 2001).

En Francia, Goulet *et al.* (2004) observaron un aumento significativo tanto en la materia orgánica total así como en la biomasa microbiana en el subsuelo en un viñedo sometido a tratamientos regulares con acolchado orgánico o cobertura de poa (*Poa pratensis* L.) durante 9 años. La cubierta de hierba fue más efectiva que los acolchados para aumentar la biomasa microbiana en la capa superior del suelo. Esto se atribuyó a los exudados rizosféricos y la actividad de la biomasa de la raíz de *Poa pratensis*. Por otra parte, estos mismos autores vieron que el crecimiento vegetativo fue mayor en los suelos acolchados con corteza de álamo y corteza de coníferas que en los suelos de control. Sin embargo, la producción vegetativa anual y los rendimientos de uva fueron más bajos con el tratamiento con *Poa pratensis* que con los otros tratamientos, el de control y los de corteza de álamo y conífera. Esto se atribuyó a la competencia entre la cobertura herbácea y las vides por el agua y los nutrientes.

En Italia, Pinamonti (1998), usando compost como acolchado en viñedos, encontró un incremento del contenido de materia orgánica, del fósforo disponible y del potasio de cambio en el suelo; también se mejoró la porosidad y la capacidad de retención del agua.

FRAGA

En la zona de Fraga, el suelo forestal presenta una tendencia a mayores niveles de Carbono Orgánico (CO) en todas las fracciones, salvo en la fracción inerte, el COR, donde el suelo agrícola tiene mayor cantidad. Sin embargo, excepto en la fracción estable, el COox, y en el Carbono Orgánico Total (COT), en las restantes fracciones no se ha observado diferencias significativas entre los contenidos de CO del suelo forestal al agrícola (**Figura. 24**). En esta zona de estudio, el cambio del uso del suelo ha supuesto una merma en la calidad del suelo.

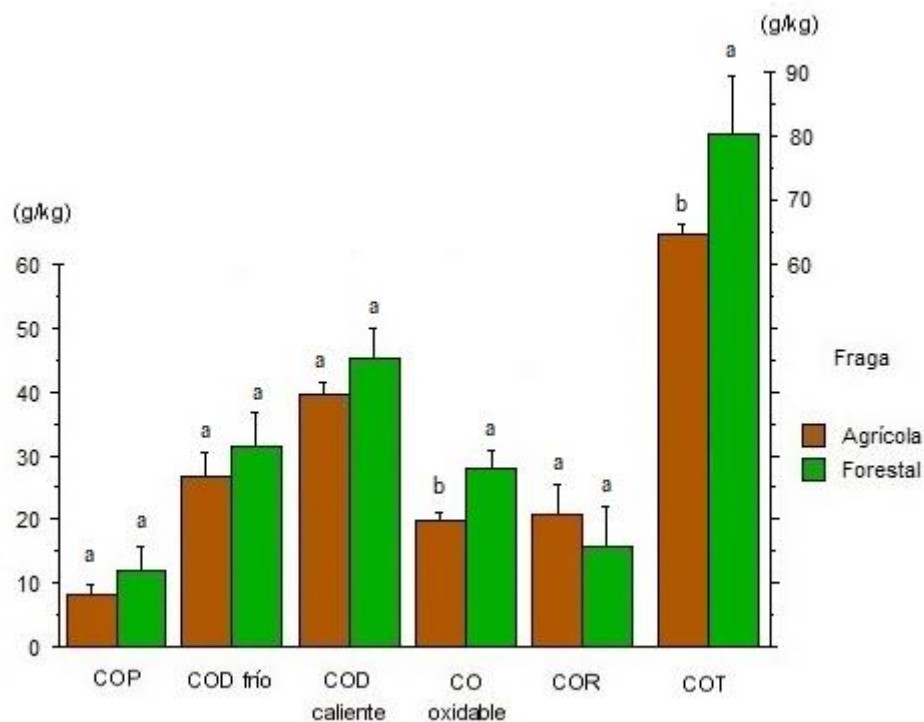


Figura 24. Valores medios del COT y sus fracciones en la zona de Fraga para cada tipo de suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el contenido de carbono de cada una de las fracciones según el uso del suelo.

A pesar de las prácticas culturales que se han estado desarrollando en la zona, la rotación cultivo en extensivo, en concreto el cultivo una leguminosa como la Veza (*Vicia sativa* L.), seguido de barbecho, no ha sido suficiente para mantener unos niveles de materia orgánica como los que presenta el suelo forestal. El hecho de que la diferencia en los contenidos de COox y COT entre los dos usos del suelo sea significativa, nos indica de una alta tasa de mineralización de la materia orgánica, que a largo plazo, si no se remedia, llevará consigo una modificación de las propiedades del suelo.

De todos modos, en la bibliografía se encuentran varios estudios donde se muestran los efectos positivos de la rotación de cultivos sobre el mantenimiento de niveles altos de Materia Orgánica en el Suelo (MOS) (Campbell *et al.*, 1996; Omay *et al.*, 1997) y sobre la productividad de los cultivos (Odell *et al.*, 1984; Johnston, 1986). Además, el tipo de cultivo involucrado también ha influido en la composición de las fracciones de la MOS. La introducción de una leguminosa en la rotación, juega un papel importante, debido a su efecto sobre la relación C/N. Así mismo, Potter *et al.*, 1998 observaron que las leguminosas forrajeras, después de varias décadas de cultivo, aumentaron el contenido de CO, en comparación con las cosechas continuas de granos, producidas sin abonos o fertilizantes a base de nitrógeno (N).

Otro factor no menos relevante es la cantidad de residuos devueltos al suelo ya que también influye en los niveles de MOS. Larson *et al.* (1978) informaron que el CO del suelo estaba relacionado linealmente a la cantidad de residuo añadido. En el caso de Fraga, durante la época de barbecho se genera una alta cantidad de biomasa, que al preparar la tierra, se incorpora al suelo. Y tras el corte de la veza, si bien no se dejan residuos sobre el suelo, sí que permanecen sus raíces, de este modo, las diferencias entre las fracciones lábiles, COP junto a CODf y CODc, no muestran diferencias entre el suelo forestal y el agrícola.

5. CONCLUSIONES

1°.- La materia orgánica y cada una de sus fracciones estudiadas se han mostrado sensibles al cambio de uso del suelo.

2°.- La pérdida de la materia orgánica, sobre todo en las fracciones lábil y estable, ha guardado una estrecha relación con la intensificación en las prácticas culturales.

3°.- Las pérdidas en la fracción inerte, en el carbono orgánico recalcitrante, ha estado más influenciadas por el tiempo en que se lleva gestionando la tierra que por la práctica agrícola en sí desarrollada.

4°.- La influencia del cambio del uso sobre la materia orgánica y sus fracciones ha variado de acuerdo al siguiente orden:

$$\text{CO}_{\text{ox}} > \text{COD}_{\text{f}} > \text{COD}_{\text{c}} > \text{COP} > \text{COT} > \text{COR}.$$

5°.- Las variaciones en los contenidos de la materia orgánica y sus fracciones, tanto en el piso forestal como en el suelo agrícola, no se han regido por un gradiente N-S.

6. ANEJOS.

6.1 RESULTADOS OBTENIDOS.

Ref.	COT (g/kg)	COP (g/kg)	CODf (g/kg)	CODc (g/kg)	COox (g/kg)	COR (g/kg)
B F7	70,86	12,91	37,40	41,49	39,25	30,43
N30CFP7 7 F	45,49	6,03	23,70	33,10	18,91	13,30
N20CF P4 9 F	55,32	9,70	44,87	48,74	27,04	9,99
S30FQ 15 F	55,15	7,04	41,05	50,73	27,23	15,87
Media Fragen forestal	56,70	8,92	36,75	43,51	28,11	17,40
Desviación Standard	10,49	3,08	9,22	8,00	8,38	9,01
B A1	51,02	5,22	17,11	25,03	16,93	16,98
B A6	48,76	4,12	18,49	24,55	14,61	8,65
SoNP1 12 A	52,40	8,03	37,25	53,02	25,26	4,12
S1(S3MP1) 13 A	36,52	6,63	15,87	32,64	17,88	15,98
S2 MP 29 A	36,28	4,55	18,63	26,20	13,49	-
Media Fragen agrícola	45,00	5,71	21,47	32,29	17,64	11,43
Desviación Standard	7,95	1,61	8,89	12,03	4,61	6,13
L F1	80,77	13,68	20,21	35,64	32,75	31,30
L F2	45,02	8,52	9,67	24,23	20,22	21,00
L F3	55,55	13,22	12,02	26,60	20,27	31,36
L F4	50,75	15,71	12,06	24,71	23,19	9,57
L F6	58,53	21,33	27,43	39,99	28,54	9,75
L F8	67,36	20,42	21,63	32,20	27,73	-
Media Hoya forestal	59,66	15,48	17,17	30,56	25,45	20,60
Desviación Standard	12,78	4,80	6,98	6,44	5,05	10,84

Ref.	COT (g/kg)	COP (g/kg)	CODf (g/kg)	CODc (g/kg)	COox (g/kg)	COR (g/kg)
L A1	43,16	0,28	2,40	7,64	5,21	5,15
L A2	28,26	0,26	2,51	8,26	5,56	13,03
L A3	26,29	0,55	2,06	7,75	5,27	-
L A4	22,17	1,40	3,64	7,44	6,05	8,82
L A5	24,29	0,84	2,11	7,11	5,40	8,23
L A6	19,25	0,86	2,58	5,15	4,59	2,82
L A7	30,63	-	3,06	6,63	5,19	15,32
<i>Media Hoya agrícola</i>	27,72	0,70	2,62	7,14	5,32	8,90
<i>Desviación Standard</i>	7,78	0,43	0,56	1,02	0,44	4,69
14 F1	36,98	4,39	21,49	16,60	7,97	3,05
14 F2	47,39	9,49	14,76	25,84	14,65	4,82
14 F3	66,36	8,52	16,93	30,30	16,45	5,32
14 F4	47,70	5,92	12,87	10,72	11,80	4,60
<i>Media Somontano forestal I</i>	49,61	7,08	16,51	20,86	12,72	4,45
<i>Desviación Standard</i>	12,23	2,35	3,71	8,85	3,70	0,98
14 A1	64,47	1,36	7,89	10,33	5,26	11,76
14 A2	50,06	0,25	5,77	6,35	5,30	4,20
14 A3	68,57	2,55	6,13	7,86	5,90	11,28
14 A4	56,64	1,04	5,55	5,34	5,08	13,65
14 A5	27,64	1,88	-	-	5,12	14,47
<i>Media Somontano Agrícola I</i>	53,48	1,42	6,34	7,47	5,33	11,07
<i>Desviación Standard</i>	16,11	0,87	1,07	2,17	0,33	4,06

Ref.	COT (g/kg)	COP (g/kg)	CODf (g/kg)	CODc (g/kg)	COox (g/kg)	COR (g/kg)
9F1	30,72	4,25	25,08	35,42	8,66	-
9F2	45,09	11,50	33,89	48,22	12,95	6,78
9F3	36,62	10,13	32,34	45,35	18,32	26,75
9F4	48,32	14,17	40,21	63,77	18,60	18,03
9F5	31,22	6,13	32,23	41,40	10,46	7,32
9F6	31,49	3,74	31,03	33,19	9,94	-
9F7	28,31	2,60	33,19	39,42	8,07	-
9F8	30,63	4,28	35,06	37,53	11,23	14,78
<i>Media Somontano forestal II</i>	35,30	7,10	32,88	43,04	12,28	14,73
<i>Desviación Standard</i>	7,46	4,26	4,22	9,73	4,10	8,27
16 A2	25,53	1,66	4,45	10,18	3,29	6,33
16 A3	20,52	1,18	21,02	9,03	1,82	6,49
16 A5	28,11	0,84	4,75	4,64	3,01	0,00
16 A6	20,36	1,41	16,15	16,11	2,13	9,30
<i>Media Somontano agrícola II</i>	23,63	1,27	11,59	9,99	2,56	5,53
<i>Desviación Standard</i>	3,83	0,35	8,32	4,72	0,70	3,93
Fr F1	92,04	10,73	23,79	40,23	24,25	14,43
Fr F3	82,86	17,03	35,91	47,35	33,41	21,56
Fr F5	76,46	14,20	35,63	49,15	27,56	22,56
Fr F6	71,30	10,53	32,78	48,40	26,82	7,91
<i>Media Fraga forestal</i>	80,66	13,12	32,03	46,28	28,01	16,61
<i>Desviación Standard</i>	8,94	3,10	5,67	4,10	3,87	6,84
Fr A2	68,22	8,32	25,02	38,03	18,81	16,06
Fr A5	65,27	8,05	27,92	39,56	20,42	22,00
Fr A7	64,06	10,32	31,24	41,55	20,59	26,60
<i>Media Fraga agrícola</i>	65,85	8,90	28,06	39,71	19,94	21,56
<i>Desviación Standard</i>	2,14	1,24	3,11	1,76	0,98	5,29

6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES.

PERFIL: FRAGEN

Situación: 30 T YN 734705/4722335

Altitud: 1220 msnm.

Topónimo: Furquieto.

Término municipal: Fragen-Torla-Sobrarbe.

Geomorfología: Vertiente abancalada.

Pendiente: La inclinación local es del 2% debido al abancalado, pero la general es del 50%.

Material original: Coluvio de depósitos morrénicos laterales en contacto con *Flysch* eocénico.

Vegetación: Pasto mesófilo. As. *Euphrasio.Plantaginetum mediae*.

Uso del territorio: Ganadero.

Otros: Parcela Ecomont (pasto). En las últimas décadas este suelo fue de uso agrícola (*panar*) y, por tanto, labrado.

Descripción de los horizontes del perfil edáfico:

Ah 0-30 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Húmedo. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo amarillento oscuro (seco). Pardo oscuro (húmedo). ELEMENTOS GRUESOS: Escasos (5%), de distribución heterogénea, de forma subredondeada tabular, de tamaño de grava media y gruesa. Parte de los elementos gruesos de naturaleza caliza (con efervescencia frente al HCl); otros no. MATERIA ORGÁNICA: Abundante. TEXTURA: Franco-arenosa. ESTRUCTURA: Fuerte desarrollo estructural, de forma migajosa. RAÍCES: Muy abundantes, finas y muy finas, vivas. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Presencia de galerías de lombrícidos. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: Presencia de carbón vegetal. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Nula. LÍMITE INFERIOR: Transición gradual. Epipediación móllico.

Bw₁ 30-60 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Húmedo. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo pálido (seco). Castaño (húmedo). ELEMENTOS GRUESOS: Muy escasos de distribución irregular, de forma subangular-plana y tamaño de grava media. MATERIA ORGÁNICA: Poca. TEXTURA: Franco-arenosa, al tacto. ESTRUCTURA: Fuerte, mediana, en bloques subangulares, con estructuras migajosas yuxtapuestas de origen biológico. RAÍCES: Frecuentes, vivas, finas. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Presencia de pocas cavidades de lombrícidos. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: Presencia de restos de carbón vegetal. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Nula. LÍMITE INFERIOR: Transición gradual. Endopedión cámbico.

Bw₂ 60-97 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Húmedo. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo pálido (seco). Castaño (húmedo). ELEMENTOS GRUESOS: Pocos, de forma subangular-plana y tamaño de grava gruesa. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca. TEXTURA: Franco-arenosa, al tacto. ESTRUCTURA: Moderada, mediana, en bloques subangulares. RAÍCES: Pocas, finas, vivas. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: Pocos restos carbonosos. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Nula. LÍMITE INFERIOR: Transición difusa. Endopedión cámbico.

BC > 97 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Húmedo. MANCHAS: Pocas, pequeñas, indistintas, de límite neto, distribuidas en el contacto con los elementos gruesos. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo pálido (seco). Castaño (húmedo). ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes, de forma subangular-plana y tamaño de grava media a cantos, no calcáreos. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca. TEXTURA: Franca, al tacto. ESTRUCTURA: Débil, mediana, en bloques subangulares. RAÍCES: Pocas, finas, vivas. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: Pocos restos carbonosos. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Nula.

Características físico-químicas del perfil:

Horizonte	Ah	Bw ₁	Bw ₂	BC
Profundidad (cm)	30	60	97	> 97
Color Munsell, seco	10YR 5/4	10YR 6/4	10YR 6/4	10YR 6/4
Color Munsell, húmedo	10YR 3/3	10YR 4/4	10YR 4/4	10YR 4/4
Densidad aparente (g/cm ³)	1,17	1,48	1,49	1,61
Porosidad (% v/v)	52,2	43,1	40,4	38,1
Humedad 33 kPa (% p/p)	18	18	18	20
Humedad 1500 kPa (% p/p)	8	8	8	9
Agua útil (% p/p)	10	10	10	11
Agua útil (mm)	30,4	35,6	53,1	47,5
Estabilidad estructural (% p/p)	70,1	12,5	11,8	14,8
Elementos gruesos (% p/p)	13,3	19,9	3,7	4,3
Arena total (%)	55,8	52,6	53	50,1
Limo (%)	27,2	28,8	27,8	29,5
Arcilla (%)	17	18,6	19,3	20,4
Clase textural (USDA)	Franco-arenosa	Franco-arenosa	Franco-arenosa	Franca
pH (1:2,5) en agua	7,4	7,9	7,9	7,9
pH (1:2,5) en KCl	6,4	6,7	7,1	7,3
Carbonatos (%)	0	0	0	0
Caliza activa (%)				
Materia orgánica total (%)	2,6	1	0,9	0,9
Nitrógeno total (%)	0,26	0,12	0,11	0,11
Relación C/N	5,8	4,8	4,7	4,7
C.I.C. (cmolc/Kg)	8,7	7,6	7,4	8,2
C.E.e. (dS/m)	0,09	0,04	0,04	0,04

Fuente: Badía, D. y Martí, C., 1989

Clasificación del suelo:

Cambisol areni-eútrico, de acuerdo con WRB (FAO, 1998).

Dystric Eutudept, franco fino, mezclado (no ácido), mésico, semiactivo, según STS (SSS, 1998).

PERFIL: FRAGEN

Situación: 30 T YN 773675/4721400

Altitud: 1250 msnm.

Topónimo: Selva.

Término municipal: Fragen-Torla-Sobrarbe.

Geomorfología: Vertiente Norte.

Pendiente: 20%.

Material original: Turbiditas (Calizas y margas) de la *facies flysch* (Eoceno). Serie turbidítica tipo barranco de Yosa.

Vegetación: Pinar muscogo. As. *Hylocomio-Pinetum catalaunicae*.

Uso del territorio: Forestal.

Descripción de los horizontes del perfil edáfico:**O 1-0 cm.**

Hojarasca.

Ah 0-50 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Húmedo. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo amarillento oscuro (seco). Pardo amarillento oscuro (húmedo). ELEMENTOS GRUESOS: Frecuentes, con distribución horizontal, de forma tabular y con un tamaño de grava gruesa a cantos. MATERIA ORGÁNICA: Abundante. TEXTURA: Franca. ESTRUCTURA: Fuerte desarrollo estructural, de forma granular. RAÍCES: Presencia de raíces y micelios. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Presencia de hormigas y gusanos. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Nula. LÍMITE INFERIOR: Límite neto. Epipedión ócrico.

Bw₁ 50-90 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Húmedo. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo pálido (seco). Pardo amarillento oscuro (húmedo). ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes, de distribución horizontal, de forma sub-redondeada-tabular y de tamaño de grava gruesa. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca. TEXTURA: Franco-arcillo-limosa, al tacto. ESTRUCTURA: Fuerte desarrollo, en forma subangular. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Muy baja. LÍMITE INFERIOR: Transición gradual. Endopedión cámbico.

Bw₂ 90-130 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Húmedo. MANCHAS: Acumulaciones de carbonatos en forma de pseudo-micelios. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo pálido (seco). Pardo amarillento oscuro (húmedo). ELEMENTOS GRUESOS: Frecuentes, de distribución irregular, de forma tabular y tamaño de grava gruesa. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca. TEXTURA: Franco-arcillosa, al tacto. ESTRUCTURA: Moderada, mediana, subangular. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Media. LÍMITE INFERIOR: Transición gradual. Endopediación cámbico.

Ck > 130 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Húmedo. ELEMENTOS GRUESOS: Frecuentes, de forma tabular y tamaño de grava gruesa. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca. ESTRUCTURA: Débil grado de desarrollo estructural, en bloques subangulares. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Alta.

Características físico-químicas del perfil:

Horizonte	Ah	Bw ₁	Bw ₂
Profundidad (cm)	50	90	130
Color Munsell, seco	10YR 5,5/3	10YR 6/4	10YR 6/4
Color Munsell, húmedo	10YR 4/3	10YR 5/4	10YR 4/4
Densidad aparente (g/cm ³)	0,95	1,6	1,6
Porosidad (% v/v)	62,7	39,6	37,2
Humedad 33 kPa (% p/p)	26,8	15,2	11,6
Humedad 1500 kPa (% p/p)	15,2	13,6	14,0
Agua útil (% p/p)	11,6	8,6	10,3
Agua útil (mm)	51,0	37,0	51,9
Estabilidad estructural (% p/p)	73,2	8,3	1,7
Elementos gruesos (% p/p)	7,2	33,0	21,4
Arena total (%)	35,6	11,5	20,9
Limo (%)	40,6	57,7	47,4
Arcilla (%)	23,8	30,8	31,7
Clase textural (USDA)	Franca	Franco-arcillo-limosa	Franco-arcillosa
pH (1:2,5) en agua	6,2	8,0	8,1
pH (1:2,5) en KCl	5,6	7,1	7,2
Carbonatos (%)	0	2,6	7,2
Materia orgánica total (%)	4,14	0,85	0,52
Nitrógeno total (%)	0,22		
Relación C/N	11,0		
C.I.C. (cmolc/Kg)			
C.E.e. (dS/m)			

Fuente: Badía, D. y Martí, C., 1989

Clasificación del suelo:

Cambisol eútrico, de acuerdo con WRB (FAO, 1998).

Typic Eutrudept, franco fino, mezclado (no ácido), frígido, activo sobre semiactivo, según STS (SSS, 1998).

PERFIL: HOYA DE HUESCA

Situación:

Altitud: 620 msnm.

Topónimo: Castillo de Nisano.

Término municipal: Arascués-Nueno-Hoya de Huesca.

Geomorfología: Plataforma. **Pendiente:** Nula.

Material original: Calizas.

Vegetación y uso: Carrascal. Forestal pastoreado.

Descripción de los horizontes del perfil edáfico:

Ah 0-40 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Frecuentes (entorno 15%), de naturaleza caliza, redondeados y dispuestos sin orientación definida, pero formando una distribución en capas. TEXTURA: Franco-arcillosa, al tacto. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Escasa, aunque se observan galerías de lombrícidos, pero ya rellenas por actividad mineral. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Muy alta. LÍMITE INFERIOR: Muy nítido y ondulado.

Bk/Ah 40-90 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Inexistentes. TEXTURA: Franco-arenosa, al tacto. RAÍCES: Escasa presencia. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Alta. LÍMITE INFERIOR: Nítido y plano.

Bk 90-150 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. MANCHAS: Aparecen pseudomicelios de carbonato. ELEMENTOS GRUESOS: En aumento. ACUMULACIONES: Se aprecian de carbonatos. TEXTURA: Franco-arcillosa, al tacto. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Nula. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Muy alta. LÍMITE INFERIOR: Difuso.

Ck > 46 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Aparecen gran cantidad de elementos gruesos, pero el material no llega a encontrarse cementado. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Nula. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Muy alta. LÍMITE INFERIOR: Difuso.

Características físico-químicas del perfil:

Horizonte	Ah	Bk/Ah	Bk	Ck
Profundidad (cm)	40	90	150	> 150
Color Munsell, seco	7,5YK 5/4	10YR 6/4	10YR 6/3	10YR 7/4
Color Munsell, húmedo	7,5YK 3/4	10YR 3/4	10YR 5/4	10YR 3/6
Densidad aparente (g/cm ³)				
Humedad a saturación (% p/p)				
Humedad 33 kPa (% p/p)	23,07	23,31	19,87	11,66
Humedad 1500 kPa (% p/p)	12,04	10,09	6,43	4,42
Agua útil (% p/p)	11,03	13,22	13,44	7,24
Agua útil (mm)				
Estabilidad estructural (% p/p)	73,26	75,31	26,66	24,80
Elementos gruesos (% p/p)	14,57	4,20	15,48	81,36
Arena total (%)	46,97			
Limo (%)	42,23			
Arcilla (%)	10,8			
Clase textural (USDA)	Franca			
pH (1:2,5) en agua	8,32	8,67	8,83	8,4
pH (1:2,5) en KCl	7,59	7,66	7,57	7,54
Carbonatos (%)	15,82	38,06	42,38	47,49
Caliza activa (%)				
Materia orgánica total (%)	3,94	1,37	0,03	0,26
Nitrógeno total (%)				
Relación C/N				
C.I.C. (cmolc/Kg)				
C.E.e. (dS/m)				

Fuente: Modificado de Méritz, Y., 2000

Clasificación del suelo:

Calcisol hipercálcico, de acuerdo con WRB (FAO, 1998).

PERFIL: SOMONTANO I (parcela roja agrícola)**Situación:** 31 T RG 2577 6633.**Altitud:** 436 msnm.**Topónimo:** Montesierra.**Término municipal:** Salas Bajas-Somontano de Barbastro.**Geomorfología:** Plataforma estructural (relieve subhorizontal residual).**Pendiente:** 3%.**Material original:** Areniscas.**Vegetación:** Viñedo Var. Moristel (*Vitis vinífera L.*).**Uso del territorio:** Agrícola.**Descripción de los horizontes del perfil edáfico:****Ap1 0-10 cm.**

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. COLOR (de la matriz del suelo): Rojo amarillento (seco). Pardo rojizo oscuro (húmedo). MANCHAS: Inexistentes. ESTADO REDOX: Oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: Frecuentes (10%), de tamaño grava gruesa, de forma subangular-esferoides, sin orientación definida. ACUMULACIONES: Inexistentes. TEXTURA: Arcillosa. ESTRUCTURA: Moderada, en bloques subangulares medianos. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (2%), en forma de residuos orgánicos muy descompuestos. HUMUS: Mull. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Abundante, en forma de hormigueros hipogeos. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: Frecuentes, de aspecto normal, de tamaño medio a grueso. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Muy alta. LÍMITE INFERIOR: Gradual plano. HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Epipedión óchrico.

Ap2 10-40 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo fuerte (seco). Rojo amarillento (húmedo). MANCHAS: Inexistentes. ESTADO REDOX: Oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: Frecuentes (15%), de tamaño grava gruesa, de forma subangular-esferoides, sin orientación definida. ACUMULACIONES: Pocas acumulaciones de carbonato cálcico en forma de cemento geopital asociado a la parte inferior de los elementos gruesos. TEXTURA: Arcillosa. ESTRUCTURA: Moderada, en bloques subangulares. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1,5%), en forma de residuos orgánicos muy descompuestos. HUMUS: Mull. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Abundante presencia de galerías de lombrices.

ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: Frecuentes, de aspecto normal, de tamaño medio a grueso. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Muy alta. LÍMITE INFERIOR: Gradual plano. HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Epipediación óchrico.

Bk 40-70 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. COLOR (de la matriz del suelo): Naranja (seco). Castaño (húmedo). MANCHAS: Inexistentes. ESTADO REDOX: Oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: Pocos (5%), de tamaño grava gruesa, de forma redondeado-esferoides, no calcáreos, sin orientación definida. ACUMULACIONES: Abundantes acumulaciones (30%) de carbonato cálcico en forma de pseudomicelios y de cemento geopital asociada a todas las superficies de los elementos gruesos. TEXTURA: Arcillosa. ESTRUCTURA: Moderada, en bloques angulares. COMPACIDAD: Compacto. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca (< 1%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Poca actividad, con galerías de lombrices. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: Muy pocas, de aspecto normal, tanto vivas como muertas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Muy alta. LÍMITE INFERIOR: Abrupto y plano. HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Epipediación cálcico.

Ckm 70-85 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. MANCHAS: Inexistentes. ESTADO REDOX: Oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes (90%), de tamaño grava gruesa, distribuidos por todo el horizonte. ACUMULACIONES: Generalizadas, con el horizonte cementado de acumulaciones de carbonatos. ESTRUCTURA: Carente de estructura debido a la abundancia de elementos gruesos. COMPACIDAD: Muy compacto. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: Inexistentes. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Muy alta. LÍMITE INFERIOR: Abrupto y plano. HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Epipediación petrocálcico.

Ck 85-140 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. MANCHAS: Inexistentes. ESTADO REDOX: Oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes (90%), de tamaño grava gruesa, distribuidos por todo el horizonte. ACUMULACIONES: Generalizadas, con el horizonte cementado de acumulaciones de carbonatos. TEXTURA: Arenosa. ESTRUCTURA: Carente de estructura debido a la abundancia de elementos gruesos. COMPACIDAD: Compacto. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: Inexistentes. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Muy alta. LÍMITE INFERIOR: Abrupto y plano. HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Epipedión cálcico.

Características físico-químicas del perfil:

Horizonte	Ap1	Ap2	Bk
Profundidad (cm)	10	40	70
Color Munsell, seco	5YK 4,5/6	7,5YR 4,5/7	7,5YR 6/6
Color Munsell, húmedo	5YK 3/4	5YR 4/5	7,5YR 4/6
Densidad aparente (g/cm ³)			
Humedad a saturación (% p/p)			
Humedad 33 kPa (% p/p)	19,3	18,8	19,9
Humedad 1500 kPa (% p/p)	10,7	10,7	9,5
Agua útil (% p/p)	8,6	8,1	10,4
Agua útil (mm)			
Estabilidad estructural (% p/p)	10,4	19,8	41,4
Elementos gruesos (% p/p)	24,3	24,5	17,6
Arena total (%)	39,3	39,7	39,3
Limo grueso (%)	13,3	13,0	13,0
Limo fino (%)	20,9	20,2	25,9
Arcilla (%)	26,5	27,2	21,7
Clase textural (USDA)	Franca	Franca	Franca
pH (1:2,5) en agua	8,1	8,3	8,3
Carbonatos (%)	14,9	16,2	26,3
Caliza activa (%)	3,0	3,0	6,8
Materia orgánica total (%)	2,12	1,47	0,85
Relación C/N			
Fósforo disponible (mg/Kg)	79,7	21,2	2,0
Potasio cambiante (mg/Kg)	444,0	170,0	236,0
Magnesio cambiante (mg/Kg)	2,28	1,30	0,75
C.I.C. (cmolc/Kg)			
C.E.e. (dS/m)	2,0	1,6	1,5

Fuente: Badía, D., Martí, C., Cuchí, J. A. y Casanova, J., 2000

Clasificación del suelo:

Calcisol crómico-endopétrico, de acuerdo con WRB (FAO, 1998).

PERFIL: SOMONTANO II (parcela parda agrícola)

Situación: 31 T BC 2604 6646.

Altitud: 455 msnm.

Topónimo: Ariño de Salas Altas.

Término municipal: Salas Altas-Somontano de Barbastro.

Geomorfología: Terraza Pliocuaternaria.

Pendiente: 5%.

Material original: Areniscas.

Vegetación: Viñedo (*Vitis vinífera* L.).

Uso del territorio: Agrícola.

Descripción de los horizontes del perfil edáfico:

Ap 0-46 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Húmedo. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo amarillento oscuro (seco). Castaño (húmedo). MANCHAS: Inexistentes. ESTADO REDOX: Oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes (25%), de tamaño grava media a grava gruesa, de forma subangular-esferoides, sin orientación definida. ACUMULACIONES: Inexistentes. TEXTURA: Arenosa. ESTRUCTURA: Moderada, en bloques subangulares. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Abundante (2,5%), en forma de residuos orgánicos muy descompuestos. HUMUS: Mull. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Frecuente, existencia de galerías de lombrices y hormigueros hipogeos, situados preferentemente en el contacto entre el horizonte organo-mineral y el horizonte subyacente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: Abundantes, de aspecto normal, entre finas y muy finas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Alta. LÍMITE INFERIOR: Contacto lítico. HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Epipedión óchrico.

R > 46 cm. MATERIAL ORIGINAL: Arenisca, en alternancia con margas en los alrededores.

Características físico-químicas del perfil:

Horizonte	Ap
Profundidad (cm)	46
Color Munsell, seco	10YR 5,5/4
Color Munsell, húmedo	10YR 4/4
Densidad aparente (g/cm ³)	
Humedad a saturación (% p/p)	
Humedad 33 kPa (% p/p)	13,4
Humedad 1500 kPa (% p/p)	6,8
Agua útil (% p/p)	6,6
Agua útil (mm)	
Estabilidad estructural (% p/p)	60,1
Elementos gruesos (% p/p)	19,4
Arena total (%)	68,2
Limo grueso (%)	9,5
Limo fino (%)	10,8
Arcilla (%)	11,5
Clase textural (USDA)	Franco-arenosa
pH (1:2,5) en agua	8,5
pH (1:2,5) en KCl	
Carbonatos (%)	32,8
Caliza activa (%)	4,0
Materia orgánica total (%)	0,96
Fósforo disponible (mg/Kg)	5,3
Potasio cambiante (mg/Kg)	126,0
Magnesio cambiante (mg/Kg)	0,17
C.I.C. (cmolc/Kg)	
C.E.e. (dS/m)	

Fuente: Badía, D., Martí, C., Cuchí, J. A. y Casanova, J., 2000

Clasificación del suelo:

Regosol léptico-calcárico, de acuerdo con WRB (FAO, 1998).

PERFIL: SOMONTANO II (parcela parda forestal)

Situación: 31 T BG 2573 6631.

Altitud: 426 msnm.

Topónimo: Sierra Vallanzuelas, camino de Salas Bajas.

Término municipal: Castellazuelo-Somontano de Barbastro.

Geomorfología: Plataforma estructural (relieve subhorizontal residual).

Pendiente: 1%.

Material original: Areniscas del Mioceno (Fm. Sariñena).

Vegetación: Carrascal.

Uso del territorio: Forestal, pastoreado ocasionalmente.

Descripción de los horizontes del perfil edáfico:**O1 2-1 cm.**

Acumulación en espesor de hojarasca (1 cm). MATERIA ORGÁNICA: Identificable, sin descomponer. ESTRUCTURA: Hojosa, con hifas de hongos abundantes (5-20%), entre la hojarasca. Material no coherente, con gran porosidad.

O2 1-0 cm.

MATERIA ORGÁNICA: Acumulación de materia orgánica, moderadamente descompuesta. ESTRUCTURA: Hojosa, con estructura coprogena yuxtapuesta. Material poco compacto, con gran porosidad.

Ah1 0-15 cm

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo amarillento oscuro (seco). Pardo amarillento oscuro (húmedo). MANCHAS: Inexistentes. ESTADO REDOX: Oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: Frecuentes (6-15%), en forma de gravas redondeadas y subangulares. ACUMULACIONES: Inexistentes. TEXTURA: Franco-arenosa. ESTRUCTURA: Débil y en bloques subangulares yuxtapuesta a la de los coprolitos, de estructura granular media. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Abundante (2-10%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Abundante actividad microbiana (5-20%) que va disminuyendo en profundidad. Coprolitos y galerías de distintos de lombrícidos. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: Frecuentes (10-25 raíces/100 cm²) y finas, disminuyendo en profundidad. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al

11%): Media. LÍMITE INFERIOR: Difuso. HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Epipedión óchríco.

Ah2 15-35 cm

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo amarillento oscuro (seco). Pardo amarillento oscuro (húmedo). MANCHAS: Inexistentes. ESTADO REDOX: Oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: Frecuentes (6-15%), en forma de gravas redondeadas y subangulares. ACUMULACIONES: Inexistentes. TEXTURA: Franco-arenosa. ESTRUCTURA: Débil y en bloques subangulares. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1-2%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Frecuente (5-20%), con presencia de galerías de lombrícidos y hormigueros. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: Muy pocas y muy finas, si bien puede apreciarse alguna raíz profunda y gruesa de carrasca que ha conseguido traspasar las areniscas consolidadas subyacentes, aprovechando sus propias grietas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Media. LÍMITE INFERIOR: Contacto lítico. HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Epipedión óchríco.

R > 35 cm. MATERIAL ORIGINAL: Arenisca consolidada con escasas grietas verticales donde puede observarse cierta movilización de los carbonatos.

Características físico-químicas del perfil:

Horizonte	Ah1	Ah2
Profundidad (cm)	15	35
Color Munsell, seco	10YK 5/2	10YK 5/3
Color Munsell, húmedo	10YK 4/2	10YR 4/3
Densidad aparente (g/cm ³)	0,72	
Humedad a saturación (% p/p)	39,1	35,1
Humedad 33 kPa (% p/p)	14,8	14,5
Humedad 1500 kPa (% p/p)	7,3	5,9
Agua útil (% p/p)	7,5	8,6
Agua útil (mm)	7,3	
Estabilidad estructural (% p/p)	91,7	64,9
Elementos gruesos (% p/p)	10,17	13,94
Arena total (%)	64,65	67,06
Limo grueso (%)	22,9	7,44
Limo fino (%)	4,4	12,28
Arcilla (%)	8,05	13,22
Clase textural (USDA)	Franco-arenosa	Franco-arenosa
pH (1:2,5) en agua	8,3	8,4
pH (1:2,5) en KCl	7,8	7,9
Carbonatos (%)	19,9	19,2
Caliza activa (%)	3,6	4,5
Materia orgánica total (%)	3,41	1,91
Nitrógeno total (%)	0,191	0,100
Relación C/N	10,4	11,1
C.I.C. (cmolc/Kg)	11,6	8,3
C.E.e. (dS/m)	0,77	0,68

Fuente: Badía, D., Martí, C., Cuchí, J. A. y Casanova, J., 2000

Clasificación del suelo:

Regosol léptico-calcárico, de acuerdo con WRB (FAO, 1998).

Xerorthent lítico-franca, mezclada (calcárea), superactiva, térmica, según STS (SSS, 1998).

PERFIL: FRAGA

Situación:

Altitud: 360 msnm.

Topónimo: Monte de San Simón.

Término municipal: Fraga-Baix Cinca/Bajo Cinca.

Geomorfología: Plataforma en relieve tubular.

Pendiente: Nula.

Material original: Roca caliza.

Vegetación: Cultivo extensivo de secano (Veza y vez).

Uso del territorio: Agrícola.

Descripción de los horizontes del perfil edáfico:

Ap 0-13 cm.

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo amarillento (seco). Castaño (húmedo). MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Frecuentes (15%), generalmente sílex y piedra caliza. ACUMULACIONES: Inexistentes. TEXTURA: Franco-arcillosa. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Abundante (4,86%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Frecuente, existencia de galerías de lombrices activas y galerías rellenas. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: Abundantes, de resto de cosecha de cereal de secano. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 11%): Alta.

R > 13 cm. MATERIAL ORIGINAL: Roca caliza continua que impide el paso de las raíces. Aparecen bolos de sílex incluidos en la roca.

Características físico-químicas del perfil:

Horizonte	Ap
Profundidad (cm)	13
Color Munsell, seco	10YR 5/4
Color Munsell, húmedo	10YR 5,5/3
Densidad aparente (g/cm ³)	1,16
Humedad a saturación (% p/p)	58,04
Humedad 33 kPa (% p/p)	30,72
Humedad 1500 kPa (% p/p)	16,93
Agua útil (% p/p)	13,79
Agua útil (mm)	17,6
Estabilidad estructural (% p/p)	
Elementos gruesos (% p/p)	15,3
Arena total (%)	27,68
Limo grueso (%)	30
Limo fino (%)	18,75
Arcilla (%)	23,5
Clase textural (USDA)	Franca
pH (1:2,5) en agua	8,58
pH (1:2,5) en KCl	7,68
Carbonatos (%)	30
Caliza activa (%)	4,0
Materia orgánica total (%)	4,86
Nitrógeno total (%)	0,27
Relación C/N	10,3
Magnesio cambiante (mg/Kg)	0,35
C.I.C. (cmolc/Kg)	13
C.E.e. (dS/m)	0,74

Fuente: Escudero, M. D., 1997

Clasificación del suelo:

Leptosol calcárico, de acuerdo con WRB (FAO, 1998).

Lithic Xerorthent iva, térmica, según STS (SSS, 1998).

7. BIBLIOGRAFÍA.

Aguilera, S.M. 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile, p. 77-85.

Albiach, R.; Canet, R.; Pomares, F. e Ingelmo, F. 2001. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil. *Bioresources Technology* 76, 125–129.

Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology, 2nd. Ed. Wiley, NY. 467pp.

Andreux, F.; Chaussod, R.; Descôtes, A.; Laumonier, A.; Lévêque, J. y Sauvage, D. 1996. Effets des pratiques agro-viticoles sur l'activité biologique et la matière organique des sols: exemples en Champagne et en Bourgogne. Colloque International 'les terroirs viticoles'. Angers 17-18 July 1996, 170–175.

Badía, D. 1989. Los suelos de Fraga. Cartografía y evaluación. Huesca. Inst. Estud. Altoaragoneses (CSIC).

Badía, D.; Cuchí, J.A.; Ibarra, P.; Longares, L.A.; Macías, F.; Martí, C.; Peña, J.L.; Pérez, C.; Poch, R.M.; Romero, D.; Sancho, C.; Saz, M.A. y Silva, P. 2009. Itinerarios edáficos por el Alto Aragón. Instituto de Estudios Altoaragoneses (IEA): Cuadernos Altoaragoneses de Trabajo, 28. pp. 189.

Badía, D.; Martí, C.; Casanova, J. y Cuchí, J. A. Suelos de la Sierra de Salinas al río Vero (Som. de Barbastro, Altoaragón). *Boletín Soc. Esp. Cienc. Suelo*. 2000. N° 7-3, 241-249.

Badía, D. y Martí, C. "Suelos del Pirineo Central: Fragen". Ed. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología (INIA), Universidad de Zaragoza (UZ), Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón (CPNA) e Instituto de Estudios Altoaragoneses (IEA). Huesca, 1999.

Balesdent, J.; Mariotti, A. y Boisgontier, D. 1990. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ¹³C abundance in maize fields. *J. Soil Sci.* 41, 584-596.

Balesdent, J.; Chenu, C. y Balabane, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Tillage Res.* 53, 215-230.

- Ballif, J.L.** 1995. Les eaux de ruissellement et d'infiltration d'un sol viticole champenois. Résultats de couverture de compost urbain et d'écorces broyées (1985–1994). *Progrès Agricole et Viticole*. 112, 534–544.
- Batjes, N.H.** 1996. "Total Carbon and Nitrogen in the Soils of the World," *European Journal of Soil Science*, Vol. 47, No. 2, pp. 151-163.
- Benito, E. y Díaz-Fierros, F.** 1992. Effects of cropping on the structural stability of soils rich in organic matter. *Soil Till. Res.* 23, 153-161.
- Bronner, H. y Bachler, W.** 1979. Der hydrolisierbare Stickstoff als Hilfsmittel für die Schätzung des Stickstoffnachlieferungsvermögens von Zuckerrüben. *Landwirtsch. Forsch.* 32, 255-261.
- Buckingham, S.; Tipping, E. y Hamilton-Taylor, J.** 2008. Dissolved organic carbon in soil solutions: a comparison of collection methods. *Soil Use Manage.* 24, 29-36.
- Buschiazzo, D.E.; Quiroga, A.R. y Stahr, K.** 1991. Patterns of organic matter accumulation in soils of the semiarid Argentinian Pampas. *Z. Pflanzenem. Bodenk.* 154, 347-441.
- Cambardella, C.A. y Elliott, E.T.** 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 777-783.
- Campbel, C.A.; McConkey, B.G.; Zentner, R.P.; Sellers, F. y Curtin, D.** 1996. Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. *Can J. Soil Sci.* 76, 395-401.
- Chan, K.Y.; Conyers, M.K.; Li, G.D.; Helyar, K.R.; Poile, G., Oates, A. y Barchia, I.M.** 2011. Soil Carbon Dynamics under Different Cropping and Pasture Management in Temperate Australia: Results of Three Long-Term Experiments. *Soil Research*, Vol. 49. 4, 320-328.
- Chantigny, M.H.** 2003. Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. *Geoderma*. 113, 357-380.

Chen, H.; Hou, R.; Gong Y.; Li H.; Fan M. y Kuzyakov Y. 2009. Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. *Soil Till. Res.* 106, 85-94.

Christensen, B.T. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.* 20, 2-38.

Coleman, D.C.; Hendrix, P.F. y Odum, E.P. 1998. Ecosystem health: an overview. In: Wang, P.H. (Ed.), *Soil Chemistry and Ecosystem Health*. Soil Science Society of America Special Publication N° 52, Madison, WI, pp.1–20.

Comité Interprofessionnel des Vins de Champagne (CIVC). 2001. *Viticulture raisonnée. Guide pratique*. Ed Association Viticole Champenoise, 5 rue Henri-Martin, 51204 Epernay.

Corre, M.D.; Schnabel, R.R. y Shaffer, J.A. 1999. Evaluation of soil organic carbon under forest, cool-season and warm-season grasses in the northeastern US. *Soil Biol. Biochem.* 31, 1531-1539.

Dalal, R.C. y Mayer, R. J. 1986. Long-term trend in fertility on soil under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. I. Overall changes in soil properties and trends in Winter cereal yields. *Aus. J. Soil. Res.* 24, 265-279.

Delprat, I.; Chassin, P.; Linères, M. y Jambert, C. 1997. Characterization of dissolved organic carbon in cleared forest soils converted to maize cultivation. *Eur. J. Agron.* 7, 201-210.

Dick W.A. 1983. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 47, 102-107.

Diovisalvi, N.V.; Studdert, G.A.; Reussi, N.I. y Domínguez, G.F. 2010. Relación entre el contenido de carbón orgánico particulado y total en suelos con diferente textura. XXII Congreso Argentino de la ciencia del suelo. Rosario. Argentina. Actas en CDDe Vos, B; S Lettens.

Doran, J.W. 1980. Microbial changes associated with residue management with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 765-771.

- Doran, J.W.** 1987. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and plowed soils. *Biol. Fertil. Soil.* 5, 68-75.
- Dou, F.; Wright, A.L. y Hons, F.M.** 2008. Sensitivity of labile soil organic carbon to tillage in wheat-based cropping systems. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* vol. 72, p. 1445.
- Eldor, A.P.; Morris, S.J.; Conant, R.T. y Plante, A.F.** 2006. Does the acid hydrolysis-incubation method measure meaningful soil organic carbon pools?. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 1023-1035.
- Elliott, E.T. y Cambardella, C.A.** 1991. Physical separation of soil organic matter. *Agri. Eco. Environ.* 34, 407-419.
- Escudero, D.,** 1997. Genesis y clasificación de los suelos de una toposecuencia en el Baix Cinca (Aragón). Trabajo Fin de Carrera. EUPH.
- Fanin, N.; Hättenschwiler, S.; Schimann, H. y Fromin, N.** 2015. Interactive effects of C, N and P fertilization on soil microbial community structure and function in an Amazonian rain forest. *Funct. Ecol.* 29, 140-150.
- FAO,** 1998. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports, 84. ISSS-ISRIC-FAO. Roma.
- FAO,** 2003. Materia orgánica y actividad biológica. Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible.
(http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/ba/organic_matter.pdf)
- Flessa, H.; Ludwig, B.; Heil, B. y Merbach, W.** 2000. The origin of soil organic C, dissolved organic C and respiration in a long-term maize experiment in Halle, Germany, determined by ^{13}C natural abundance. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 163, 157-163.
- Follet, R.F.** 2001. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil Till. Res.* 61, 77-92.
- Francaviglia, R.; Renzi, G.; Ledda, L. y Benedetti, A.** 2017. Organic carbon pools and soil biological fertility are affected by land use intensity in Mediterranean ecosystems of Sardinia, Italy. *Science of the total environment*, pp. 599-600.

Franzluebbers, A.J.; Hons, F.M. y Zuberer, D.A. 1995. Soil organic carbon, microbial biomass, and mineralizable carbon and nitrogen in sorghum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59, 460-466.

Galantini, J.A. 2001. Contenido y calidad de las fracciones orgánicas del suelo bajo rotaciones con trigo en la región semiárida pampeana. *Revista de investigaciones agropecuarias (RIA-INTA)* 30(1), 125-146.

Galantini, J.A.; Rosell, R.A. e Iglesias, J.O. 1994. Determinación de materia orgánica en fracciones granulométricas de suelos de la región semiárida bonaerense. *Ciencia del Suelo* 12 (2), 81-83.

Galantini, J.A.; Senesi, N.; Brunetti G. y Rosell, R. 2004. Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils. *Geoderma* 123, 143-152.

Galantini, J.A. y Suñer, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo; análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia*. V.25 n. 1. Córdoba.

Ghani, A.; Dexter, M. y Perrott, K.W. 2003. Hot-water extractable carbón in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil biology and Biochemistry*. 35, 1231-1243.

Ghani, A.; Sarathchandra, U.; Ledgard, S.; Dexter, M. y Lindsey, S. 2013. Microbial decomposition of leached or extracted dissolved organic carbon and nitrogen from pasture soils. *Biol. Fert. Soils*. 49, 747-755.

Ginebra, M.; Rodríguez, M.; Calero, B.; Ponce, D. y Font, L. 2015. Carbono lábil como indicador de cambios en dos suelos bajo diferentes usos. *Cultrop*. Vol. 36. n. 3. La Habana.

Gong, W.; Yan, X.; Wang, J.; Hu, T. y Gong, Y. 2009. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat-maize cropping system in northern China. *Geoderma* 149, 318-324.

Goulet, E.; Dousset, S.; Chaussod, R.; Bartoli, F.; Doledec, A.F. y Andreux F. 2004. Water-stable aggregates and organic matter pools in a calcareous vineyard soil under four soil-surface management systems. *Soil Use and Management*. 20, 318-324.

Gregorich, E.G.; Ellert, B.H.; Drury, C.F. y Liang, B.C. 1996. Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 472-476.

Gregorich, E.G.; Liang, B.C.; Drury, C.F.; Mackenzie, A.F. y McGill, W.B. 2000. Elucidation of the source and turnover of water soluble and microbial biomass carbon in agricultural soils. *Soil Biol. Biochem.* 32, 581-587.

Gregorich, E.G.; Beare, M.H.; Stoklas, U. y St-Georges, P. 2003. Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils. *Geoderma.* 113, 237-252.

Greenland D.J.; Rimmer; D. y Payne, D. 1975. Determination of structural stability class of English and Welsh soils, using a water coherence test. *J. Soil Sci.* 26, 294-303.

Guggenberger, G.; Zech, W. y Shulten, H-R. 1994. Formation and mobilization pathways of dissolved organic matter: evidence from chemical structural studies of organic matter fractions in acid forest floor solutions. *Org. Geochem.* 21, 51-66.

Guigue, J.; Mathien, O.; Lévêque, J.; Mounier, S.; Laffont, R.; Maron, P.A.; Navarro, N.; Chateau, C.; Amiotte-Suchet, P. y Lucas, Y. 2014. A comparison of extraction procedures for water-extractable organic matter in soils. *Eur. J. Soil Sci.* 65, 520-530.

Hadas, A.; Kautsky, L.; Goek, M. y Kara, E.E. 2004. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. *Soil Biol. Biochem.* 36, 255-266.

Hamkako, Z. y Bedernichek, T. 2014. Total, cold and hot water extractable organic carbon in soil profile: impact of land-use change. *Zemdirbyste.* 101, 125-132.

Hayes, M.H.B. y Clapp, C.E. 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Science*, 166, 723-737.

Haynes, R.J. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An overview. *Adv. Agrom.* 85, 221-268.

- Haynes, R.J. y Francis, G.S.** 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *Journal of Soil Science*. 44, 665-675.
- Havlin, J.L.; Kissel, D.E.; Maddux, L.D.; Claassen, M.M. y Long, J.H.** 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 448-452..
- Hedges, J.I. y Keil, R.G.** 1995. Sedimentary organic-matter preservations - an assessment and speculative synthesis. *Mar. Chem.*, 49 (2-3), 81-115.
- Hernández-Hernández, R.M. y López Hernández, D.** 2002. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in savanna soil aggregates under convencional and no-tillage. *Soil Biol. Biochem.* 34, 1563-1570
- Heumann, S.; Ringe, H. y Böttcher, J.** 2012. Long-term net N mineralization potential as an indicator for soil fertility: chances and constraints. *Arch. Agro. Soil Sci.* 58, S107-S111.
- Hishi, T.; Hirobe, M.; Tateno, R. y Takeda, H.** 2004. Spatial and temporal patterns of water-extractable organic carbon (WEOC) of surface mineral soil in a cool temperate forest ecosystem. *Soil Biol Biochem.* 36, 1731-1737.
- Houghton, R.A.** 2005. "The Contemporary Carbon Cycle," In: W. H Schlesinger, Ed., *Biogeochemistry*, Elsevier Science, pp. 473-513.
- Huerta, O.; López, M y Soliva, M.** 2010. Procés de compostatge: caracterització de mostres. Col·lecció estudis. Sèrie Medi Ambient. Diputació de Barcelona. ISBN 978-84-9803-428-8. 431pp.
- International Organization for Biological and Integrated Control of Noxious Animals and Plants (IOBC).** 1996. Guidelines, requirements for integrated production in viticulture in Europe. ed. A. Schmid. IOBC West Palaearctic regional Section Bulletin, Avignon France. 19 (10), 36 pp.
- Jandl, G. y Sollins, P.** 1997. Water-extractable soil carbon in relation to the belowground carbon cycle. *Biol. Fertil. Soils.* 25, 196-201.

- Janzen, H.H.; Campbell, C.A.; Brandt, S.A.; Lafond, G.P. y Townley-Smith, L.** 1992. Ligth-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 1799-1806.
- Johnston, A.E.** 1986. Soil organic matter, effects on soil and crops. *Soil use manage.* 2, 97-105.
- Khanal, S.; Anex, R.P.; Gelder, B.K. y Wolter, C.** 2014. Nitrogen balance in Iowa and the implications of corn-stover harvesting. *Agric. Ecosyst. Environ.* 183, 21-30.
- Kaiser, K.** 2001. Dissolved organic phosphorus and sulphur as influenced by sorplive interactions with mineral sulsoil horizons. *Eur. J. Soil Sci.* 52, 489-493.
- Khomutova, T.E.; Shirshova, L.T.; Tinz, S.; Rolland, W. y Richter, J.** 2000. Mobilidation of DOC from Sandy loamy soils under different land use (Lower Saxony, Germany). *Plant Soil.* 219, 13-19.
- Kononova, M.M.** 1966. Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soil fertility, 2nd ed.; Pergamon Press: Oxford. U.K.
- Krull, E.S.; Baldock, J.A. y Skjemstad, J.O.** 2003. Importance of mechanisms and processes of the stabilisation of soil organic matter for modelling carbon turnover. *Funct. Plant Biol.* 30, 207–222.
- Laird, D.A. y Chang, C.W.** 2013. Long-term impacts of residue harvesting on soil quality. *Soil Tillage Res.* 134, 33-40.
- Landgraf, D.; Leinweber, P. y Makeschin, F.** 2006. Cold and hot water-extractable organic matter as indicators of litter decomposition in forest soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169, 76-82.
- Lal, R.** 2004. “Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security,” *Science*, Vol. 304, No. 5677, pp. 1623-1627.
- Lal, R. y Follett, R. F.** 2009 “Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect,” 2nd Edition, Soil Science Society of America, Madison.

Larson, W.E.; Holt, R.F. y Carlson, C.W. 1978. Residues for soil conservation. p. 1-15. In W.R. Oschwald (ed.). Crop residue management systems. ASA SPEC. PUBLIC. 31. ASA. CSSA. SSSA. Madison, WI.

Li, W.; Yang, G.; Chen, H.; Tian, J.Q.; Zhang, Y.; Zhu, Q.A.; Peng, C.H. y Yang, J.A. 2013. Soil available nitrogen, dissolved organic carbon and microbial biomass content along altitudinal gradient of the Eastern slope of Gongga Mountain. *Acta Ecol. Sin.* 33, 266-271.

Lorenzo, M. 2000. Influencia del cambio de uso del suelo sobre la capacidad de retención de agua disponible (CRAD) en suelos del Alto y Medio Aragón. Huesca. PFC ITA 01-12. EUPH.

Lorenzo, P.; Rivero, C.; Bravo, C. y Hernández, R.M. 2011. Fracciones de la materia orgánica del suelo bajo sistemas de siembra directa y cultivos de cobertura. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 28, 35-56.

Loveland P. y Webb J. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil Till. Res.* 70, 1-18.

Malinda, D.K. 1995. Factors in conservation farming that reduce erosion. *Aust. J. Expl. Agric.* 35, 969-978.

Maljean J.F.; Amlinger F.; Bannick C.G.; Favoino E.; Feix I.; Leifert I.; Marmo L.; Morris R.; Pallière C.; Robert M.; Siebert S. y Tittarelli, F. 2004. Land use practices in Europe. In: (Van Camp et al. Eds.) Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/3 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Mann, L.; Tolbert, V. y Cushman, J. 2002. Potential environmental effects of corn (*Zea mays* L.) stover removal with emphasis on soil organic matter and erosion. *Agric. Ecosyst. Environ.* 89, 149-166.

Mandolesi, M.; Vidal, P.; Ron, M. y Forjan, H. 2002. Carbono orgánico y sus fracciones según uso del suelo en un Argiudol típico del centro sur bonaerense. *Boletín del INTA. Chacra Experimental Integrada Barrow, Tres arroyos (Buenos Aires)*, 6pp.

- Manzoni, S.; Trofymow, J.A.; Jackson, R.B. y Porporato, A.** 2010. Stoichiometric controls on carbon, nitrogen and phosphorus dynamics in decomposing litter. *Ecol. Monogr.* 80, 89-106.
- Marschner, B. y Kalbitz, K.** 2003. Controls of bioavailability and biodegradability of dissolved organic matter in soils. *Geoderma*. 113, 211-235.
- Marschner, B.; Brodowski, S.; Dreves, A.; Gleixner, G.; Gude, A.; Grootes, P.M.; Hamer, U.; Heim, A.; Jandl, G.; Ji, R.; Kaiser, K.; Kalbitz, K.; Kramer, C.; Leinweber, P.; Rethemeyer, J.; Schäffer, A.; Schmidt, M.W.I.; Schwark, L.; Wiesenberger, G.L.B.** 2008. How relevant is recalcitrance for the stabilization of organic matter in soils? *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171, 91–110.
- Mary, B.; Recous, S.; Darwis, D. y Robin, D.** 1996. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant Soil*. 181, 71-82.
- McGill, W.B.; Cannon, K.R., Robertson, J.A. y Cook, F.D.** 1986. Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic C in Breton L after 50 years of cropping to 2 rotations. *Can. J. Soil. Sci.* 66, 1-19.
- McLauchlan, K.** 2006. The nature and longevity of agricultural impacts on soil carbon and nutrients: a review. *Ecosystems* 9, 1364–1382.
- Mériz, Y.** 2000. Clasificación y evaluación de suelos de la D.O. Somontano (T.M. Castellazuelo, Pozán de Vero, Salas Altas y Salas Bajas). Huesca. TFC nº 887. EUPH.
- Moller, J.; Miller, M. y Kjoller, A.** 1999. Fungal-bacterial interaction on beech leaves: influence on decomposition and dissolved organic carbon quality. *Soil Biol. Biochem.* 31, 367-374.
- Nelson, D.W. y Sommers, L.E.** 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A.L.; Miller, R.H. y Keeny, D.R. (Eds.). *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp: 539-579.
- Noellemeyer, E.; Quiroga, A.R. y Estelrich, D.** 2006. Soil quality in three range soils of the semi-arid Pampa of Argentina. *Journal of Arid Environments*. 65, 142-155.

- Odell, R.T.; Melsted, S.W. y Walker, W.M.** 1984. Changes in organic carbon and nitrogen of Morrow Plots soil under different treatments, 1904-1973. *Soil Sci.* 137, 160-171.
- Ogle, S.M.; Breidt, F.J.; Eve, M.D. y Paustian, K.** 2003. "Uncertainty in Estimating Land Use and Management Impacts on Soil Organic Carbon Storage for US Agricultural Lands between 1982 and 1997," *Global Change Biology*, Vol. 9, No. 11, pp. 1521-1542.
- Omay, A.B.; Rice, C.W.; Maddux, L.D. y Gordon, W.B.** 1997. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 1672-1678.
- Paré, T; Dinel, H.; Moulin, A.P. y Townley-Smith, L.** 1999. Organic matter quality and structural stability of a black chernozemic soil under different manure and tillage practices. *Geoderma* 91, 311-326.
- Parton, W.J.; Schimel, D.S.; Cole, C.V. y Ojima, D.S.** 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51, 173-179.
- Paul, E.A.; Follet, R.F.; Halvorson, A.; Peterson, G.A. y Lyon, D.I.** 1997. Radiocarbon dating for determination of soil organic matter pool sizes and dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 1058-1067.
- Pellicer, S. y Echeverría, M.T.** 1989. Formas de relieve del centro de la Depresión del Ebro. CSIC. Zaragoza.
- Picone, L.I.** 2006. Propiedades del suelo relacionadas con la fertilidad. *En: Fertilidad de suelo y Fertilización de Cultivos (eds. HE Echeverría & FO García)*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. p. 3-18.
- Pinamonti, F.** 1998. Compost mulch effects on soil fertility, nutritional status and performance of grapevine. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, 239-248.

- Poirier, N.; Derennes, S.; Rouzaud, J.N.; Largeau, C.; Mariotti, A.; Balesdent, J. y Maquet, J.** 2000. Chemical structure and sources of macromolecular, resistant, organic fraction isolated from a forest soil (Lacadée, South-west France). *Organic geochemistry*. 31, 813-827.
- Potter, K.N.; Tolbert, H.A.; Jones, O.R.; Matocha, J.E.; Morrison, J.E. y Unger, P.W.** 1998. Distribution and amount of soil organic C in long-term management system in Texas. *Soil Till. Res.* 47, 309-321.
- Qualls, R.G. y Haines, B.L.** 1991. Geochemistry of dissolved organic nutrients in water percolating through a forest ecosystem. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 1112-1123.
- Quideau, S.A. y Bockheim J.G.** 1996. Vegetation and cropping effects on pedogenic processes in a Sandy prairie soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 5363-545.
- Quideau, S.A. y Bockheim J.G.** 1997. Biogeochemical cycling following planting to red pine on a Sandy prairie soil. *J. Environ. Qual.* 26, 1167-1175.
- Quiroga, A.R.; Buschiazzo, D.E. y Peinemann N.** 1996. Soil organic matter particle size fractions in soils of the semiarid Argentinian Pampas. *Soil Sci.* 161, 104-108.
- Reay, D. y Pidwirny, M.** 2011. "Carbon Dioxide," In: C. J. Cleveland, Ed., *Encyclopedia of Earth*. http://www.eoearth.org/article/Carbon_dioxide
- Rocha Jr., P. R. da; Donagemma, G.K.; Andrade, F.V.; Passos, R.R.; Balieiro, F. de C.; Mendonça, E. de S. y Ruiz, H.A.** 2013. Can soil organic carbon pools indicate the degradation levels of pastures in the Atlantic forest biome. *J. Agr. Sci.* 6, 84-95.
- Rodríguez Vidal, J.** "Geomorfología de las sierras exteriores Oscenses y su pie de monte". Ed. I.N.A. Huesca. 1986.
- Romanyà, J.; Rovira, P. y Vallejo, V.R.** 2007. Análisis del carbon en los suelos agrícolas de España. Aspectos relevantes en relación a la reconversion a la agricultura ecológica en el ámbito mediterráneo. *Ecosistemas* 16 (1), 50-57.
- Rovira, P. y Vallejo, V.R.** 2007. Labile, recalcitrant and inert organic matter in Mediterranean forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 202–215.

- Salinas-García, J.R.; Hons, F.M. y Matocha, J.E.** 1997. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 152-159.
- Schiedung, H.; Bornemann, L. y Welp, G.** 2017. Seasonal variability of soil organic carbon fractions under arable land. *Soil Science Soc. of China. Pedosphere* 27(2), 380-386.
- Shi, A.D. y Marschner, P.** 2014. Soil respiration and microbial biomass after residue addition are influenced by the extent by which water-extractable organic C was removed from the residues. *Eur. J. Soil Biol.* 63, 28-32.
- Siemens, J.** 2003. The European carbon budget: a gap. *Science.* 302, 1681.
- Simpson, A.J.; Song, G.; Smith, E.; Lam, B.; Novotny, E.H. y Hayes, M.H.B.** 2007. Unraveling the Structural components of soil humin by use of solution-state nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Environ. Sci. Technol.*, 41, 876-883.
- Six, J.; Elliot, E.T.; Paustian, K. y Doran, J.W.** 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62, 1367-1377.
- Six, J.; Elliot, E.T. y Paustian, K.** 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32, 2099-2103.
- Skjemstad, J.O.** 2002. Importance of soil organic matter fractions to crop production, soil structure and soil resilience. Grains Research & Development Corporation Final Report CSO. 195 p.
- Smolander, A. y Kitunen, V.** 2002. Soil microbial activities and characteristics of dissolved organic C and N in relation to tree species. *Soil Biol. Biochem.* 34, 651-660.
- Sollins, P.; Glassman, C.; Paul, E.A.; Swanston, C.; Lajtha, K.; Heil, J.W. y Elliott, E.T.** 1999. Soil carbon and nitrogen: Pools and fractions. pp. 89-105. In G.P Robertson et al. (ed.) *Standard soil methods for long-term ecological research.* Oxford Univ. Press, Oxford, UK.

Spedding T.A.; Hamel, C.; Mehuys, G.R. y Madramootoo, C.A. 2004. Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. *Soil Biol. Biochem.* 36, 499-512.

S.S.S., 1975. Soil taxonomy. A basic system for making and interpreting soil survey. Agric handbook.

S.S.S., 1998. Keys for soil taxonomy. 8th Edition. USDA-NRCS. Washington.

Stockmann, U.; Adams, M.A.; Crawford, J.W.; Field, D.J.; Henakaarchchi, N.; Jenkins, M.; Minasmy, B.; Mc Bratney, A.B.; Courcelles, V. y Singh, K. 2013. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agric. Ecosyst. Environ.* 164, pp. 80-99.

Strosser, E. 2010. Methods for determination of labile soil organic matter: An overview. *J. Agrobiol.* 27, 49-60.

Tabatabai, M.A. 1996. Soil organic matter testing: An overview. p. 1-10. *In:* F Magdoff *et al. (eds)*, Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation. SSSA Spec. Pub. 46. American Society of Agronomy. Madison, WI.

Tan, Z.; Lal, R.; Owens, L. e Izaurrealde, R.C. 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil Till. Res.* 92, 53-59

Tan, Z.; Liu, S.; Bliss, N. y Tieszen, L.L. 2012. Current and potential sustainable corn stover feedstock for biofuel production in the United States. *Biomass Bioenerg.* 47, 372-386.

Urioste, A.M.; Hevia, G.G.; Hepper, E.N.; Antón, L.E.; Bono, A.A. y Buschiazzi, D.E. 2006. Cultivation effects on the distribution of organic carbon, total nitrogen and phosphorus in soils of the semiarid región of Argentinian Pampas. *Geoderma.* 136 (3-4), 621-630.

Urquiza, N.; Alemán, C.; Flores, L.; Ricardo, M. y Aguilar, Y. 2011. Manual de procedimientos para el Manejo sostenible de Tierra. Programa de asociación del País para el apoyo al Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía. CIEGA, 186pp.

US Environmental Protection Agency (USEPA). 2011. "Carbon Sequestration in Agriculture and Forestry".

http://www.epa.gov/sequestration/tools_resources.html

Vásquez-Polo, J.R.; Macías-Vázquez, F. y Menjivar-Flores, J.C. 2011. Formas de carbono orgánico en suelos con diferentes usos en el departamento del Magdalena (Colombia). *Acta Agron.*, Volumen 60, Número 4, 369-379.

Videla, C.; Trivelin, P.C.; Studdert, G.A.; Echeverría, H.E. y Bendasolli, J.A. 2004. Fraccionamiento granulométrico de materia orgánica de suelos del SE bonaerense bajo pastura, labranza convencional y siembra directa. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Virto, I.; Barré, P. y Chenu, C. 2008. Microaggregation and organic matter storage at the silt-size scale. *Geoderma* 146, 326-335.

Wang, W.J.; Dalal, R.C.; Moody, P.W. y Smith, C.J. 2003. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. *Soil Biol. Biochem.* 35, 273-284.

Watts, C.W.; Clark, L.J.; Puulton, P.R.; Powlson, D.S. y Whitmore, A.P. 2006. The role of clay, organic carbon and longterm management on mouldboard plough draft measured on the Broadbalk wheat experiment at Rothamsted. *Soil Use and Management* 22, 334-341.

Wilson, B.R.; Koen, T.B.; Barnes, P.; Ghosh, S. y King D. 2011. "Soil Carbon and Related Soil Properties along a Soil Type and Landuse Intensity Gradient, New South Wales, Australia," *Soil Use and Management*, Vol. 27, No. 4. pp. 437-447.

Xian, L.; Lanhai, L.; Zhiming, Q.; Jiangang, H. y Yongli, Z. 2017. Land-use impacts on profile distribution of labile and recalcitrant carbon in the Ili River Valley, northwest China. *Science of the total environment.* 586, 1038-1045.

Yadav, V.G.; Malanson, P.; Bekele, E. y Lant, C. 2009. "Modeling Watershed-Scale Sequestration of Soil Organic Carbon for Carbon Credit Programs,". *Applied Geography*, Vol. 29, No. 4, 2009, pp. 488-500.

Yang, X.; Meng, J.; Lan, Y.; Chen, W.; Yang, T.; Yuan, J.; Liu, S. y Han, J. 2017. Effects of maize stover and its biochar on soil CO₂ emissions and labile organic carbon fractions in Northeast China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 240, 24-31.