



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-135

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Carbono orgánico en suelos forestales del Principado de Asturias: importancia de los horizontes subsuperficiales e influencia de la fisonomía de la cubierta vegetal

RODRÍGUEZ RASTRERO, M.¹; YUNTA MEZQUITA, F.²; GUIRADO TORRES, M.¹; ORTEGA MARTOS, A.³; CUEVAS RODRÍGUEZ, J.³, GUMUZZIO FERNÁNDEZ, J.³

¹ Unidad de Conservación y Recuperación de Suelos. Dpto. de Medio Ambiente. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, CIEMAT

² Departamento de Química Agrícola y Bromatología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid

³ Departamento de Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid

Resumen

Los suelos forestales constituyen importantes reservorios de carbono orgánico a nivel global, en forma de materia orgánica humificada. La distribución vertical del carbono orgánico en los suelos muestra, con frecuencia, valores elevados en horizontes profundos, siendo determinantes por tanto en la cuantificación del carbono orgánico total del suelo; dichos valores pueden estar asociados tanto a procesos edafogénicos como a distintos factores ambientales, caso de la tipología de la cobertura vegetal.

En este trabajo se analiza la influencia de distintos tipos de cubierta vegetal en la distribución vertical del carbono orgánico edáfico. Tras el estudio de un total de 105 perfiles edáficos en el Principado de Asturias, 54 de ellos correspondientes a suelos forestales, han sido constatadas pautas diferenciadas en la distribución en profundidad del carbono orgánico según el tipo de cubierta vegetal. El carbono orgánico ha sido evaluado por comparación entre el horizonte superficial y los subsuperficiales, siendo expresado como Densidad de Carbono Orgánico del Suelo (SOCD). Los resultados indican diferencias significativas entre perfiles bajo coberturas de pastizal y matorral, cuyos horizontes subsuperficiales acumulan, en promedio, en torno al 25% de la SOCD total del suelo, y los perfiles bajo cobertura arbolada, cuyos valores promedio se sitúan próximos al 50%.

Palabras clave

Materia orgánica, perfil edáfico, clima templado-húmedo, vegetación forestal.

1. Introducción

La materia orgánica humificada del suelo constituye un componente clave que determina la estructura y estabilidad de los agregados, la disponibilidad de nutrientes o la capacidad de retención de agua, siendo generalmente aceptada una proporción de 58% en C orgánico (DE BROGNIEZ, 2015).

En el contexto de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero establecida en el protocolo de Kyoto, se contempla el uso de sumideros de carbono tales como la biomasa vegetal y la materia orgánica del suelo (CALVO DE ANTA et al., 2015), lo que ha generado en años recientes un incremento de la demanda de información actualizada sobre el carbono edáfico, con objeto de dar soporte a los modelos climáticos y ambientales actualmente en desarrollo (DE BROGNIEZ, 2015).

La representación cartográfica del carbono orgánico en los suelos, constituye una herramienta que permite evaluar el papel del medio edáfico en dichos modelos; no obstante, a pesar de la abundancia de información sobre la importancia del suelo como sumidero de carbono, la falta de datos suficientes para modelizar su fijación neta, en una escala temporal para cada región geográfica y respecto a distintos usos del suelo, limita la inclusión del factor suelo en dichos modelos (CALVO DE

ANTA *et al.*, 2015). Por tanto, una cuantificación precisa del almacenamiento de carbono orgánico del suelo (SOC) resulta clave para la valoración del ciclo global del carbono (MAO *et al.*, 2015).

La distribución vertical del carbono orgánico en los suelos muestra, con frecuencia, valores elevados en horizontes profundos, que son determinantes por tanto en la cuantificación de su contenido total en carbono orgánico. En este sentido, cabe destacar el carácter anisotrópico del suelo, que hace imprescindible el estudio del conjunto de sus horizontes (HALL, 1983).

La capacidad de predicción de los diferentes modelos en uso disminuye al aumentar la profundidad, de forma que sólo pueden explicar satisfactoriamente dicha variación en los 50 primeros centímetros del perfil edáfico (McBRATNEY *et al.*, 2014). De hecho, los mapas suelen mostrar porcentajes de carbono orgánico en los primeros 30 cm de profundidad, pero no los stocks de carbono (CALVO DE ANTA *et al.*, 2015), entendidos como masa total por unidad de superficie, expresada generalmente en Mg C.ha⁻¹, lo que se asocia a la falta de datos suficientes en parámetros clave como la densidad aparente o el contenido de fragmentos gruesos, para densidades de muestreo lo suficientemente altas (MARTIN *et al.*, 2011).

La elevada variabilidad del contenido en carbono orgánico del suelo, tanto en horizontal como en vertical, se asocia con diversos factores ambientales, entre los cuales, la tipología de cubiertas vegetales y el clima, han sido los más frecuentemente estudiados por distintos autores en diferentes contextos geográficos (JOBAGY y JACKSON, 2000; CALVO DE ANTA *et al.*, 2015; MAO *et al.*, 2015).

En climas húmedos, tanto la producción como la descomposición aumentan con la temperatura, pero los aumentos relativos en la descomposición son mayores; asimismo, la textura del suelo juega un papel importante, ya que el aumento del contenido de arcilla disminuye los *outputs* de C a través de su efecto estabilizador sobre la materia orgánica; por otra parte, la distribución de raíces en el perfil edáfico se relaciona positivamente con el *stock* de C (JOBAGY y JACKSON, 2000).

La cubierta vegetal es determinante, como "factor formador activo", de algunas de las principales características de los suelos (FANNING y FANNING, 1989), y diferentes tipos de cubierta determinan, en alguna medida, tipos diferentes de suelos. Dada la dificultad en definir con precisión las condiciones de cobertura vegetal en las que se originaron los suelos, JENNY (1980) consideró que este factor habría de ser entendido como "la vegetación actualmente existente en el lugar objeto de estudio".

En particular, los suelos forestales constituyen importantes reservorios de carbono orgánico y muestran diferencias acusadas con respecto a los suelos agrícolas: en especial, la conservación de los horizontes superficiales, y la ausencia de *inputs* derivados del riego o la fertilización (BINKLEY y FISHER, 2013)

Los tipos funcionales de vegetación afectan significativamente a la distribución vertical del carbono en el suelo, de forma que los niveles más superficiales contienen una fracción variable, y con frecuencia minoritaria, del carbono que puede hallarse en el conjunto del suelo; así, valores medios obtenidos en suelos de matorrales, pastizales y bosques, indican que los primeros 20 cm aportan un 33%, un 42% y un 50%, respectivamente, del contenido total en 100 cm de espesor (JOBAGY y JACKSON 2000).

Cabe señalar que, con carácter general, la información contenida en los mapas de suelos no es directamente aplicable al desarrollo de modelos de evaluación del C orgánico; dicha información se presenta a través de unidades cartográficas constituidas por agrupaciones de taxones, en cuya definición sólo intervienen valores específicos de C orgánico en algunos casos (SOIL SURVEY STAFF, 2014; IUSS WORKING GROUP, 2014). No obstante, estudios detallados que contribuyan a definir relaciones, en un ámbito geográfico concreto, entre el contenido de C orgánico y las unidades

taxonómicas existentes, permitirán aumentar la aplicabilidad de la cartografía edafológica al desarrollo de tales modelos.

2. Objetivos

Sobre una base de información edafológica procedente de 105 perfiles obtenidos en el ámbito territorial templado-húmedo de Asturias, el objetivo principal del presente trabajo es analizar la distribución del C orgánico del suelo mediante el concepto de horizontes edáficos, lo que equivale a considerar, al cuantificar dicha distribución, la morfología del perfil edáfico, tanto en lo referente a la heterogeneidad en el espesor de cada perfil y en el de sus horizontes, como en la variedad de propiedades tales como el contenido en C orgánico y densidad aparente, que, en su conjunto, determinan valores notablemente contrastados de SOCD.

En concreto, se pretende, por una parte, constatar la importancia de los horizontes subsuperficiales en la evaluación del stock de C orgánico en los suelos, en el caso objeto de este estudio, en condiciones templado-húmedas. Por otra parte, se pretende contribuir a analizar la influencia de distintas cubiertas vegetales en la distribución vertical del carbono orgánico edáfico en profundidad, por comparación de diferentes tipologías de formaciones forestales y de usos agrícola-ganaderos.

3. Metodología

3.1. Información de base del estudio

Del total de 105 perfiles edáficos que constituyen la base de información del presente estudio, 54 han sido obtenidos bajo cobertura forestal, y otros 51 han correspondido a usos agrícolas y ganaderos. Los trabajos de campo y caracterización físicoquímica de suelos han sido llevados a cabo en el marco de diversos proyectos cartográficos desarrollados en el Principado de Asturias (figura 1) entre los años 2001 y 2012 (GOBIERNO DE ASTURIAS, inéd.).

Los criterios de descripción de perfiles son los establecidos por F.A.O. (2006). Las muestras obtenidas y analizadas corresponden a la totalidad de los horizontes genéticos descritos dentro de cada perfil edáfico, lo que supone un total de 321 muestras.

Sobre cada una de las muestras, han sido determinados los parámetros de C orgánico, densidad aparente y porcentaje de elementos gruesos (>2 mm), como base para establecer la densidad de C orgánico (*Soil Organic Carbon Density*, SOCD), expresada en $\text{MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$ en cada uno de los horizontes estudiados (GALLALI *et al.*, 2010; MAO *et al.*, 2015). Los métodos analíticos empleados corresponden a los establecidos por el *IUSS WORKING GROUP* (2014); en concreto, C orgánico mediante el método de oxidación húmeda de Walkley-Black y densidad aparente por el método del cilindro, en tanto que el porcentaje de elementos gruesos (>2 mm) de cada horizonte ha sido estimado en volumen sobre el perfil edáfico según F.A.O. (2006).

Con objeto de simplificar la presentación de los resultados, los horizontes genéticos (*SOIL SURVEY STAFF*, 2014; *IUSS WORKING GROUP* 2014) de cada perfil han sido denominados de acuerdo con los códigos "S" (superficial), y "SS1" a "SS5" para los subsuperficiales. En general, los horizontes S corresponden a horizontes genéticos A y Ap, mientras que los SSn corresponden a una amplia variedad de horizontes B y C. Tan sólo en algunos perfiles de suelos agrícolas, de carácter aluvial, se presentan 5 tipos de horizontes subsuperficiales, en este caso, secuencias de horizontes C, de naturaleza contrastada y originados por distintas fases de deposición.

De acuerdo con MAO *et al.* (2015), la densidad de C orgánico, para cada uno de los horizontes, se ha calculado según la expresión:

$$\text{SOCD} = (1 - \delta_i) \times \rho_i \times C_i \times T_i$$

donde, δ_i es el porcentaje de fracción gruesa > 2mm (estimada por volumen); ρ_i es la densidad aparente; C_i , el contenido en C orgánico (en g.kg⁻¹), y T_i , es el espesor del horizonte en cm, que corresponde al definido en la descripción del perfil edáfico.

La profundidad sobre la que se ha llevado a cabo el cálculo de la SOCD, no ha sido por tanto fijada de antemano, sino que es variable para cada uno de los distintos perfiles, en función del espesor de cada uno de los horizontes que lo componen.

Cada uno de los perfiles edáficos estudiados ha sido asociado a los tipos de cubierta vegetal existentes en su entorno inmediato, que han sido compartimentados en distintas unidades de uso agrícola/ganadero y forestal, que se describen seguidamente:

agrícola/cultivo forrajero y praderas: comprende suelos laboreados regular u ocasionalmente, aprovechados como cultivos hortícolas de diversa tipología, así como por cultivos forrajeros sembrados, monofitos o, en el caso de las praderas, polifitos (FERRER *et al.*, 2001).

prado-pastizal: comprende comunidades herbáceas espontáneas, de densidad variable, aprovechadas por siega (prados) o pastoreo (ambos), que presentan distintos grados de agostamiento en verano, más acusado en el caso de los pastizales (FERRER *et al.*, 2001).

arbolado: corresponde a formaciones, naturales o no, dominadas por un estrato arbóreo denso. Incluye formaciones boscosas maduras, constituidas en su mayor parte por hayedos, robledales y bosques mixtos atlánticos (BLANCO *et al.* 2005), así como plantaciones forestales de eucaliptares y pinares (ORTEGA *et al.*, 2011).

matorral: comprende formaciones arbustivas diversas con altura aproximadamente homogénea y menor de 2 m, entre ellas, escobonales, brezales, tojales y helechales (FERRER *et al.*, 2001).

mixto pastizal-matorral: representa a zonas de transición entre ambas tipologías, e incluye así mismo a los denominados "pastos de puerto" en cotas altas (FERRER *et al.*, 2001).

Los perfiles edáficos situados en puntos de muestreo calificados en las categorías de "arbolado", "matorral" y "mixto pastizal-matorral", han sido considerados como representativos de suelos forestales. Los perfiles asociados a las categorías "agrícola/cultivo forrajero y praderas" y "prado-pastizal", han sido considerados como representativos de suelos agrícola-ganaderos.

3.2. Análisis estadístico

El análisis estadístico se ha llevado a cabo con el programa IBM-SPSS v.23. Se ha realizado un análisis de la varianza de un factor (ANOVA), con una significación de $p < 0.1$, analizando como variable dependiente la Densidad de Carbono Orgánico del Suelo - SOCD (expresada en Mg C.ha⁻¹) obtenida sobre cada horizonte edáfico, y como variables independientes, el espesor de cada horizonte y el tipo de cubierta vegetal asociada al punto de muestreo donde se ha descrito el perfil.

El análisis de las relaciones entre la SOCD correspondiente a la totalidad de cada perfil (SOCD_{total}) y la SOCD determinada en los horizontes subsuperficiales (SOCD_{ss}), permite evaluar la importancia relativa del C existente en los niveles inferiores del suelo. Para ello, se llevará a cabo un análisis de la varianza asociada a los valores obtenidos para cada perfil edáfico según la expresión (SOCD_{ss}/SOCD_{total}) x 100.

Se ha aplicado la prueba *post-hoc* de Duncan cuando el análisis de la varianza ha resultado significativo ($p < 0.1$).

4. Resultados y discusión

Seguidamente, se muestra la distribución de los valores de C orgánico obtenidos en los horizontes edáficos analizados (Figura 1).

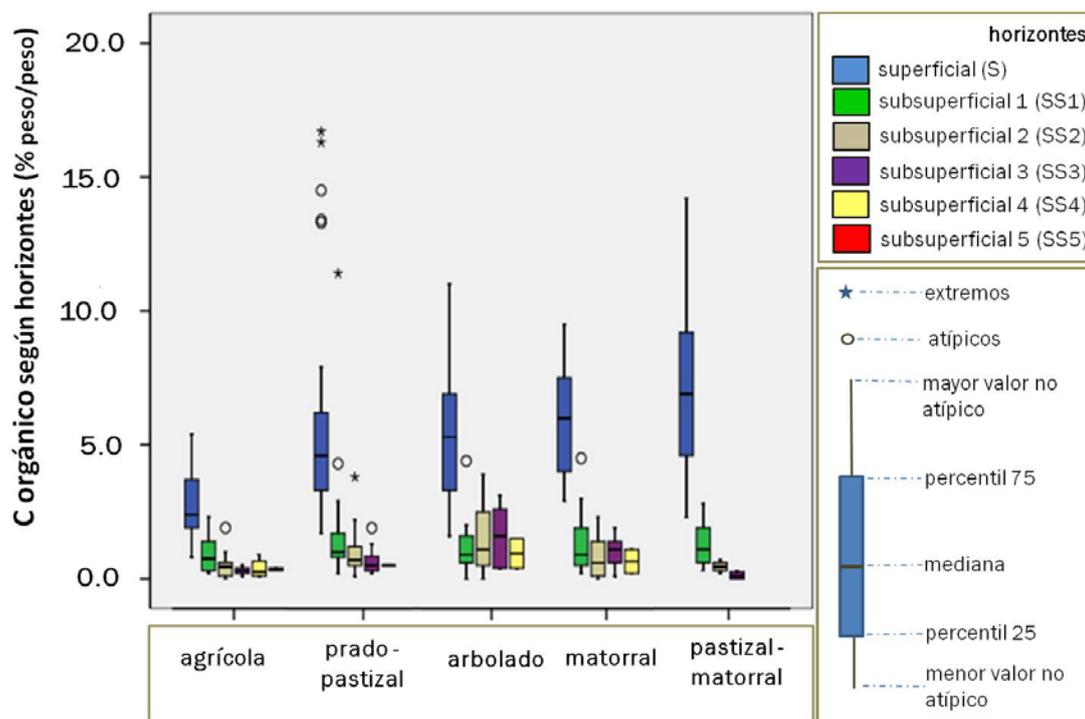


Figura 1. Distribución de valores de C orgánico en los suelos analizados por tipologías de uso

Los valores de C orgánico en los horizontes superficiales resultan más elevados que los obtenidos en los subsuperficiales, lo que es aún más evidente en el conjunto de datos asociados a usos forestales y, en particular a los de matorral y mixto pastizal-matorral. Las categorías asociadas a usos agrícola-ganaderos presentan los valores más bajos y más homogéneos.

La tendencia observable indica contenidos inferiores en C orgánico dentro de las tipologías de usos agrícola-ganaderos, lo cual se refiere con carácter general a los distintos horizontes, y en particular a los superficiales.

El desarrollo en profundidad se asocia a la tipología general de usos: así, los suelos de vocación agrícola-ganadera presentan en promedio mayores profundidades (103 ± 42 cm) que los suelos dedicados a usos forestales (65 ± 42 cm), destacando en cualquier caso la elevada variabilidad de este parámetro, entendida tanto con respecto al espesor del perfil edáfico en su conjunto, como, individualmente, al de los diferentes horizontes que lo constituyen (Figura 2).

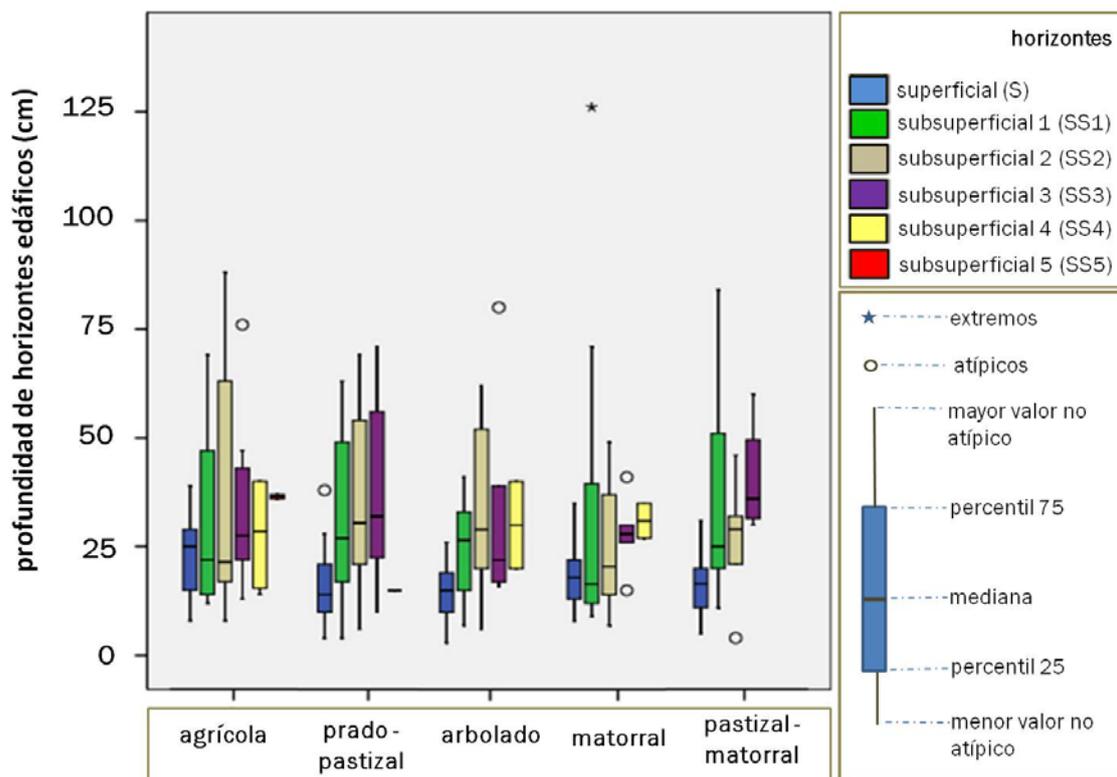


Figura. 2. Distribución de valores de espesor de los horizontes edáficos

Para la totalidad de tipos de cubierta vegetal analizados, el horizonte superficial comprende una parte minoritaria del espesor total del suelo, no siendo apreciables diferencias entre los distintos tipos.

Los valores de C orgánico y espesor son, junto con los parámetros anteriormente indicados de densidad aparente y contenido en elementos gruesos, determinantes para cuantificar el carbono edáfico, expresado como SOCD (en $\text{MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$). Los valores obtenidos se muestran a continuación (Figura 3).

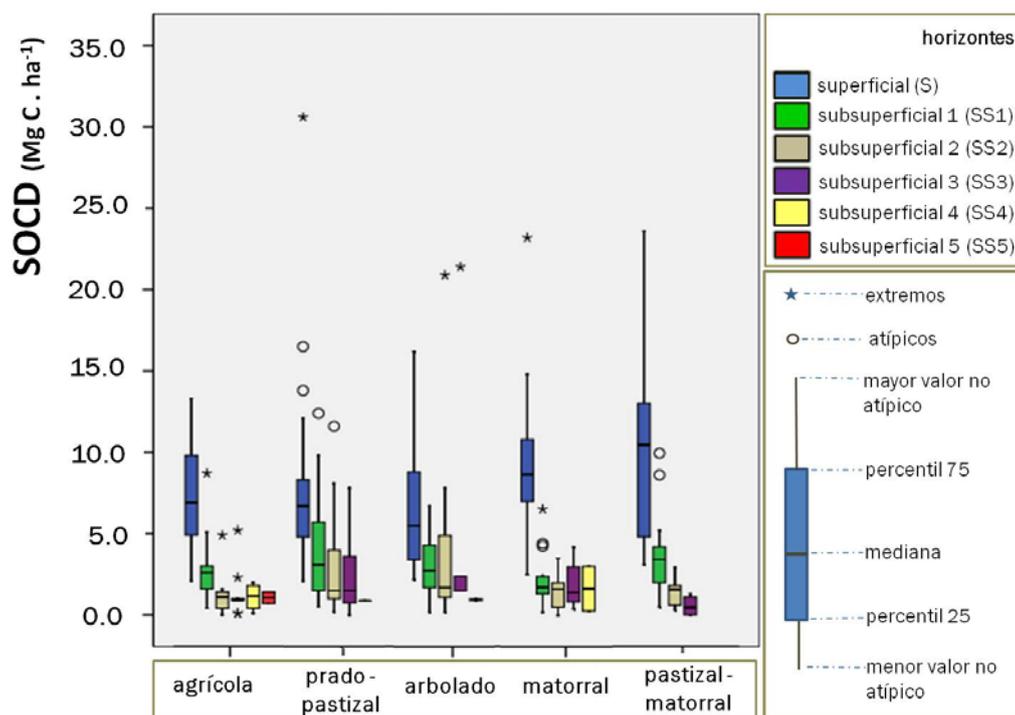


Figura 3. Distribución de valores de SOCD

Es apreciable en la figura 3 la importancia de la elevada concentración de carbono orgánico en los horizontes superficiales, de forma que, a pesar de su relativamente bajo espesor, los valores de SOCD son los más elevados en comparación con cualquiera de los demás horizontes, lo que se hace más evidente en los perfiles asociados a cubiertas forestales de matorral y mixtas de pastizal y matorral.

Las figuras 1 a 3 permiten por tanto destacar la elevada heterogeneidad general en los parámetros asociados a la distribución de C orgánico, que se manifiesta igualmente en la estimación de la densidad de carbono orgánico en el suelo (SOCD).

Las categorías asociadas a usos agrícola-ganaderos presentan los valores significativamente más bajos y homogéneos tanto de carbono orgánico como de SOCD contrastando con los usos forestales, lo que cabe asociar a los mayores *outputs* de C que son intrínsecos a los usos agrarios (extracción de biomasa, laboreo) (JOBAGY Y JACKSON, 2000), y que limita o excluye la presencia de valores muy elevados.

La heterogeneidad de los valores observados para los distintos parámetros tiene su base en las características morfológicas de los perfiles edáficos, que difieren notablemente en cuanto al desarrollo de horizontes y la profundidad efectiva; ésta queda definida, bien por la presencia de roca coherente (contacto lítico o paralítico -SOIL SURVEY STAFF, 2014-) o una capa freática, o bien por una profundidad mayor de 200 cm.

Morfológicamente, corresponden en su mayor parte a perfiles representativos de suelos de escaso desarrollo, de tipo A/C (43%) y A/R (11%); ambos corresponden en su mayor parte, a suelos con presencia de un único horizonte de diagnóstico (SOIL SURVEY STAFF, 2014) que, por lo común, posee elevados porcentajes relativos de C orgánico, desarrollado sobre un material original fácilmente excavable (C), o competente (R); en su mayor parte, se asocian a uso forestales de pastizal, matorral o arbolado.

Los perfiles con morfología A/B/C, constituyen una parte significativa de los estudiados (38%), tratándose de suelos frecuentemente dedicados a usos agrícola-ganaderos.

Un 21 % de los perfiles estudiados muestran un decrecimiento irregular del C orgánico con la profundidad; por una parte, esta situación se da en suelos de perfil A/C que cuentan con distintos horizontes genéticos ($C_1...C_n$) de origen deposicional (comúnmente aluvial (Suborden *Fluvents* de *Soil Taxonomy*), y asociados generalmente a usos agrícola-ganaderos. Por otra parte, se presenta en suelos del Orden *Spodosoles* (*SOIL SURVEY STAFF*, 2014), de uso casi exclusivamente forestal, con una morfología característica (A/E/Bhs/C) y que representan un 8% de los perfiles estudiados.

A continuación, el análisis de la Varianza permitirá establecer cuáles de las tendencias observadas tienen significación estadística.

Los resultados del análisis de la Varianza respecto de las relaciones entre la SOCD (tomando como base sus diferentes horizontes), y los distintos tipos de cubierta vegetal, se muestran en la figura 4.

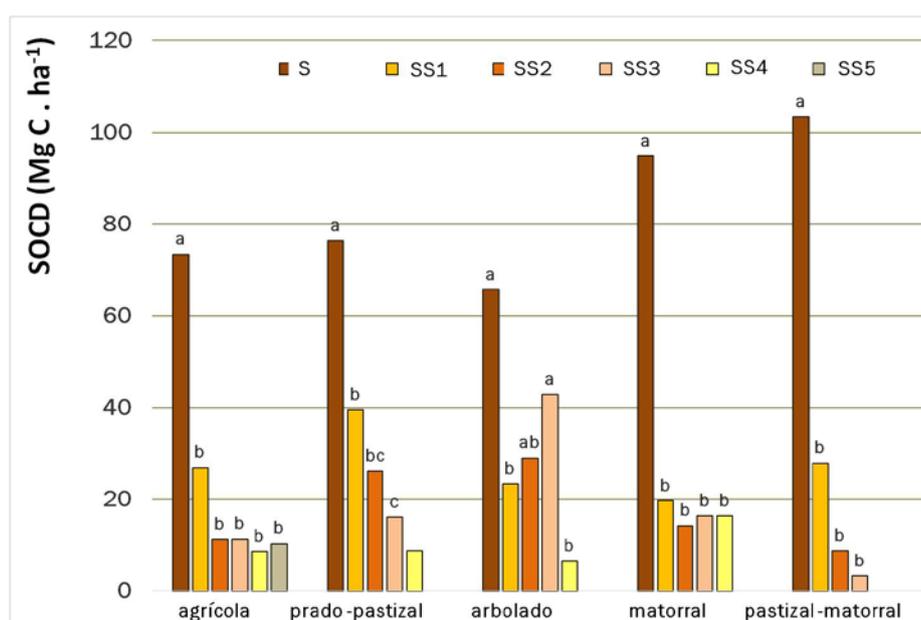


Figura 4. Distribución de la Densidad de Carbono Orgánico del Suelo - SOCD ($Mg\ C \cdot Ha^{-1}$) a lo largo de los horizontes (S-superficial y SS1 a SS5 subsuperficiales) para cada tipo de cubierta. Letras diferentes muestran diferencias significativas para una prueba post-hoc de Duncan con un grado de significación de $p < 0.1$.

Se puede observar que el SOCD es significativamente mayor en el horizonte superficial (S) con respecto a cualquiera de los horizontes subsuperficiales, y para todos los tipos de cubierta vegetal. En el caso de los perfiles bajo cobertura arbolada, se observa una mayor redistribución del SOCD a lo largo del perfil del suelo, no existiendo incluso diferencias significativas entre alguno de los horizontes subsuperficiales (SS2) y el horizonte superficial S, lo que contrasta con el resto de perfiles asociados a usos forestales.

Cuando se analiza el SOCD en cada horizonte del suelo para cada tipo de cubierta se observa que en el horizonte superficial (S) el contenido de SOCD es superior en los suelos con cobertura de pastizal-matorral y matorral que en aquellos bajo cobertura de arbolado. Los usos agrícola-ganaderos carecen, entre sí, de diferencias significativas. En los horizontes subsuperficiales, cabe destacar de nuevo el comportamiento diferenciado de los perfiles bajo arbolado con respecto a los de los restantes usos forestales (Figura 5).

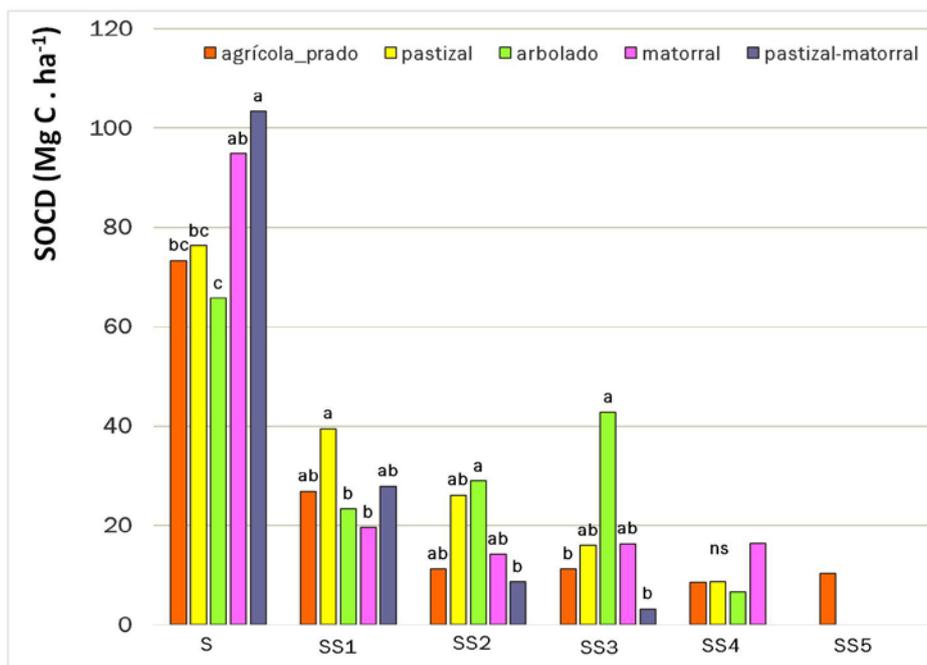


Figura 5. Comparación de la Densidad de Carbono Orgánico del Suelo - SOCD ($\text{Mg C} \cdot \text{ha}^{-1}$) según tipos de cubierta a lo largo de los horizontes (S-superficial y SS1 a SS5 subsuperficiales). Letras diferentes muestran diferencias significativas para una prueba post-hoc de Duncan con un grado de significación de $p < 0.1$.

La importancia relativa de los horizontes subsuperficiales del suelo en el contenido global de C orgánico, se expone en la siguiente gráfica (Figura 6).

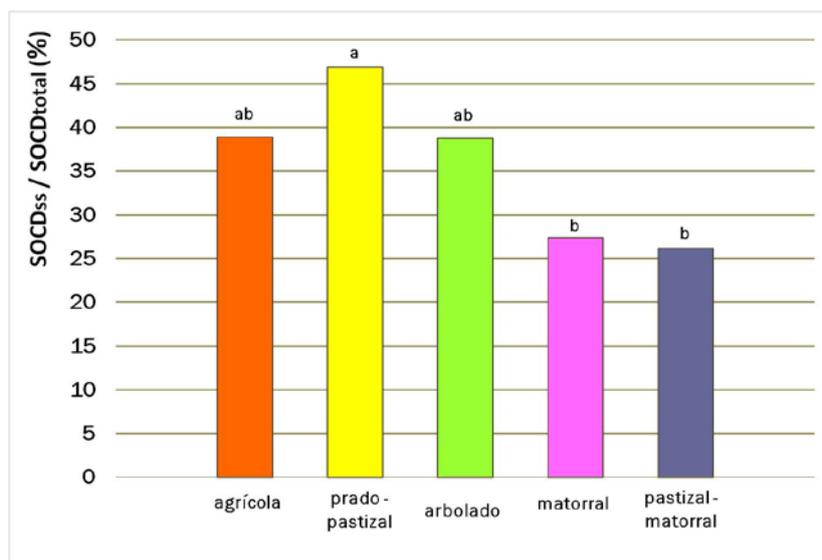


Figura 6. Porcentaje de SOCD en el conjunto de los horizontes subsuperficiales (SOC_{Dss}) con respecto a la SOCD total del suelo, según tipos de cobertura. Letras diferentes muestran diferencias significativas para una prueba post-hoc de Duncan con un grado de significación de $p < 0.1$.

De acuerdo con los valores representados, entre un 26 y un 47 % del C orgánico está contenido en los horizontes edáficos subsuperficiales, presentando diferencias significativas en función del tipo de cobertura, que se manifiestan en los elevados porcentajes de los perfiles

asociados a usos ganaderos de prado y pastizal frente a los menores de los usos forestales no arbolados, en tanto que los perfiles asociados a usos agrícolas y al forestal arbolado, no presentan diferencias significativas. Los resultados obtenidos, en relación con la distribución más homogénea de C orgánico dentro de los perfiles asociados a cubierta de arbolado, frente a las categorías de matorral y pastizal-matorral, son coherentes con lo establecido por Jobbagy y Jackson (2000) en relación con la concentración radicular a lo largo del perfil edáfico. En contraposición a los usos forestales de matorral y pastizal-matorral, los usos agrícola-ganaderos implican una notable extracción de biomasa, unida al laboreo y al incremento de la mineralización, que redundan en una menor incorporación relativa de materia orgánica fresca al suelo (BINKLEY y FISHER, 2013; JOBBAGY y JACKSON, 2000), lo que se muestra particularmente en los horizontes superficiales.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos inciden en la necesidad de un mayor conocimiento acerca de los contenidos en carbono orgánico en los horizontes subsuperficiales del suelo, dado que éstos resultan de especial importancia en la cuantificación del carbono edáfico.

Los resultados aportan, en el contexto de suelos de clima templado-húmedo del territorio de Asturias, criterios que permiten relacionar los contenidos en carbono orgánico en los horizontes superficiales del suelo con los existentes en niveles inferiores de acuerdo con la tipología de cubiertas vegetales. De este modo, han sido constatadas pautas diferenciadas en la distribución en profundidad del carbono orgánico según la fisionomía de las formaciones forestales, destacando el diferente comportamiento de la distribución vertical del carbono orgánico en perfiles bajo cubierta arbolada con respecto a cubiertas de matorral o mixtas de pastizal y matorral. Con carácter general, cabe asignar valores inferiores y más homogéneos de densidad de carbono orgánico a los perfiles obtenidos en suelos de uso agrícola-ganadero.

Cabe destacar el interés particular de algunos tipos de suelos cuyo contenido en carbono orgánico se distribuye irregularmente con la profundidad, como consecuencia de sus procesos edafogenéticos, lo que posee implicaciones en el desarrollo de los modelos de estimación del carbono orgánico edáfico.

Los cálculos realizados en este estudio se refieren a la densidad de carbono orgánico en el suelo (SOC_D), y se han basado en el concepto de "horizontes edáficos", de forma que la profundidad sobre la que se ha llevado a cabo el cálculo de la SOC_D, no ha sido fijada de antemano, sino que es variable en función del espesor de cada uno de los horizontes que lo componen. Esto favorece el ajuste de los cálculos a las condiciones edáficas del área de estudio, caracterizada por un alto grado de heterogeneidad en las propiedades edáficas que condicionan la SOC_D, facilitando por otra parte el empleo de la información cartográfica de suelos como herramienta para cuantificar los stocks edáficos de carbono orgánico.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen a Ricardo Pérez-Ochoa, del Centro de Cartografía de la Consejería de Infraestructuras y Territorio del Gobierno de Asturias, las facilidades de acceso a la información edafológica básica.

7. Bibliografía

BINKLEY, D.; FISHER, R.F. (2013). *Ecology and Management of Forest Soils. 4th edition*. Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons, 362 pp.

BLANCO, E.; CASADO, M.A.; COSTA, M.; ESCRIBANO, R.; GARCÍA, M.; GÉNOVA, M.; GÓMEZ, A.; GÓMEZ, F.; MORENO, J.C.; MORLA, C.; REGATO, P.; SAÍNZ, H. (2005). *Los Bosques Ibéricos. Una interpretación geobotánica*. Ed. Planeta, 597 pp. Barcelona.

CALVO DE ANTA R., LUÍS E., CASÁS F., GALIÑANES J.M., MATILLA N., MACÍAS F., CAMPS M., VÁZQUEZ N. (2015) *Soil organic carbon in northern Spain (Galicia, Asturias, Cantabria and País Vasco)*. Spanish Journal of Soil Science, Vol. 5, Issue 1. pp. 41-53.

DE BROGNEZ, D., BALLABIO, C., STEVENS, A., JONES, R. J. A., MONTANARELLA, L., VAN WESEMAEL, B. (2015). *A map of the topsoil organic carbon content of Europe generated by a generalized additive model*. European Journal of Soil Science, January 2015, 66, pp. 121–134.

F.A.O. (2006). *Guidelines for soil description. Fourth edition*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 97 pp. Rome.

FERRER, C.; SAN MIGUEL, A.; OLEA, L. (2001). *Nomenclátor básico de pastos en España*. Pastos, XXIX (2), pp. 7-44.

GALLALI, T., BRAHIM, N., BERNOUX, M. (2010). *Soil organic carbon density and storage in Tunisia*. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1–6 August 2010, Brisbane, Australia.

GOBIERNO DE ASTURIAS. (iné.) *Cartografía Temática Edafológica a escala 1:25.000*. Geoportal del Sistema de Información Territorial y la Infraestructura de Datos espaciales del Principado de Asturias.

HALL, G. F. (1983). *Pedology and Geomorphology Chapter 5*. In: *Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions*, by L.P. Wilding, N.E. Smeck and G.F. Hall (Editors), pp. 117-140. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.

IUSS WORKING GROUP WRB. (2014). *World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, 181 pp. Rome.

JENNY H. (1980). *The Soil Resource, Origin and Behaviour*, Springer-Verlag, 368 pp. New York.

JOBBÁGY, E. G., JACKSON, R.B.. (2000). *The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Belowground processes and global change. Ecological applications*, 10(2), 2000, pp. 423–436.

MAO, D.H., WANG, Z.M., LI, L., MIAO, Z.H., MA, W.H., SONG, C.C., REN, C.Y., JIA, M.M. (2015). *Soil organic carbon in the Sanjiang Plain of China: storage, distribution and controlling factors*, Biogeosciences, 12, pp. 1635–1645,

MARTIN, M. P., WATTENBACH, M., SMITH, P., MEERSMANS, J., JOLIVET, C., BOULONNE, L., ARROUAYS, D. (2011). *Spatial distribution of soil organic carbon stocks in France*. Biogeosciences, 8, pp. 1053–1065,

McBRATNEY, A. B., STOCKMANN, U., ANGERS, D.A., MINASNY, B. FIELD, D.J. (2014) *Challenges for Soil Organic Carbon Research*. In: *Soil Carbon. Progress in Soil Science, Chapter 1*, pp. 3-16. Hartemink A. E., McSweeney, K. (Eds.). Springer. International Union of Soil Sciences.

ORTEGA, M.E., DE LA MANO, D., FERNÁNDEZ, S., GARRIDO, B. (2011). El Monte en Asturias. Consejería de Medio Rural y Pesca. Dirección General de Política Forestal. Gobierno del Principado de Asturias, 82 pp. Oviedo.

SOIL SURVEY STAFF (2014). *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, 362 pp. Washington, DC.