



DISTRIBUCIÓN Y ESTRATIFICACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DEL SUDESTE DE ENTRE RÍOS CON DIFERENTES USOS Y TEXTURAS

Lupi, A.M.^{1,*}, E. Ciarlo², H. Rimski-Korsakov², H. Steinbach², R. Romaniuk¹, V. Cosentino¹, C. Álvarez²

¹Instituto de Suelos INTA Castelar. ²Facultad de Agronomía, UBA.

* Contacto: lupi.ana@inta.gob.ar

RESUMEN: El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes usos (monte nativo, agrícola y forestal) de suelos de diferentes texturas sobre la distribución del COS hasta el metro de profundidad en el sureste de Entre Ríos. El estudio se realizó en la estancia El Potrero, Gualaguaychú, Entre Ríos en suelos de textura gruesa y fina con plantaciones de *Eucalyptus grandis* de 2-4 años y de 8-10 años, muestreándose en capas de 20 cm de profundidad hasta los 100 cm. A su vez, se seleccionaron sitios de textura fina con uso agrícola y con monte nativo. Los contenidos de COS hasta un metro de profundidad se asociaron a la textura del suelo, siendo mayor en los suelos de textura fina en comparación a los suelos de textura gruesa. Independientemente de la textura no se hallaron diferencias consistentes en la concentración de COS entre los rangos de edades de las forestaciones de *E. grandis*. En suelos de textura fina, con uso forestal se acumularon similares cantidades de COS que en aquellos con uso agrícola, pero mayores que en los suelos de monte nativo con características sódicas. En este contexto los índices de estratificación propuestos no funcionaron como indicadores apropiados del funcionamiento o salud del suelo.

PALABRAS CLAVES: contenido de C, plantaciones forestales, estratificación

INTRODUCCIÓN

El C orgánico del suelo, componente central de la materia orgánica, es clave para la salud y calidad del suelo, la producción de cultivos y la actividad biológica edáfica (Schjøning *et al.*, 2018). Estimaciones realizadas a nivel global reportan que el suelo almacena al menos el doble del carbono (C) que el contenido en la atmósfera y la vegetación viva juntas (Lal, 2004). Esto transforma al suelo en el principal reservorio de C, funcionando como fuente y sumidero de CO₂ atmosférico y generando un impacto importante en el balance global (Ordóñez *et al.*, 2001). La cantidad de C orgánico que puede acumular un suelo (COS) está condicionada por complejas interacciones entre factores que articulan a escalas diferentes. A escala regional se conoce el rol del clima (Cook *et al.*, 2016), mientras que, a escala local, la cantidad de COS está determinada por el uso y manejo, el material original, la topografía y la textura (Cook *et al.*, 2016). La textura del suelo es un factor clave debido a la protección física que ejercen las arcillas (Abramoff *et al.*, 2018) y a su influencia en la capacidad de almacenamiento de agua. Existen prácticas que favorecen la captura de C como la labranza cero o siembra directa en agricultura y la conservación de residuos de la cosecha en sistemas forestales (West y Post, 2002; Fernández-Romero *et al.*, 2016). La implantación de bosques resulta una estrategia importante para mitigar los efectos del cambio climático; los mismos participan en el 90% del flujo anual de C entre la atmósfera y la tierra y durante su crecimiento almacenan grandes cantidades de C, capturando y conservando más C que cualquier otro ecosistema terrestre (Dixon *et al.*, 1994).

La estratificación del COS ocurre naturalmente en todos los suelos, y puede ser cuantificada a través de relaciones entre la cantidad de C en capas superficiales y las cantidades de C en profundidades subsuperficiales. De esta forma se pueden generar diferentes índices de estratificación, los que a su vez han sido considerados como indicadores de calidad y

Organizado por:



1547

funcionamiento del sistema suelo (Franzluebbers, 2002; Díaz Zorita y Grove, 2002) cuando las capas subsuperficiales utilizadas para el cálculo no están afectadas por el uso o la actividad antrópica.

En las últimas décadas, muchos estudios se han enfocado en estimar el almacenamiento de C en los diferentes componentes del ecosistema como la vegetación y el suelo. Sin embargo, aún hay cierta incertidumbre sobre si el uso del suelo en clima templado afecta la capacidad del secuestro de C y si la misma varía con la edad o permanencia de los cultivos forestales. Comprender cómo estos factores controlan la concentración de COS ayudará a diseñar prácticas de manejo del suelo sostenibles con el objetivo de fomentar y preservar el almacenamiento de COS, algo particularmente importante para mitigar el calentamiento global. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes usos (monte nativo, agrícola y forestal) de suelos de diferentes texturas sobre la distribución del COS hasta el metro de profundidad en el sur este de Entre Ríos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el establecimiento El Potrero de San Lorenzo, Gualeguaychú, SE de Entre Ríos (33° 1' 17" S; 58° 13' 37" W). El clima en este sitio es templado húmedo, la temperatura media anual es de 18°C, y la precipitación media anual es de 1136 mm, concentrados durante la primavera-verano. Para el estudio se seleccionaron 6 situaciones: 1) Producción agrícola de más de 50 años en suelo de textura fina (FAgri); 2) Monte nativo con leve intervención antrópica en suelo de textura fina (FMonte); 3) *Eucalyptus grandis* de 2-4 años en suelo de textura fina (FEu 2-4a); 4) *Eucalyptus grandis* de 8-10 años en suelo de textura fina (FEu 8-10a); 5) *Eucalyptus grandis* de 2-4 años en suelo de textura gruesa (GEu 2-4a); 6) *Eucalyptus grandis* de 8-10 años en suelo de textura gruesa (GEu 8-10a). Se evaluaron 3 lotes de cada situación, donde se determinó el contenido porcentual de COS (Walkley y Black), el pH en agua relación 1:2,5 y la proporción de arena, limo y arcilla (Bouyoucos), para las profundidades 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm. La textura de los tratamientos muestreados figura en la Tabla 1.

Tabla 1. Textura promedio y error estándar de los tratamientos estudiados hasta el metro de profundidad.

Profundidad (cm)	FAgri	FMonte	FEu2-4a	FEu8-10a	GEu2-4a	GEu8-10a
Arena (mg kg ⁻¹)						
0-20	356 ± 37	468 ± 15	428 ± 18	317 ± 85	751 ± 24	908 ± 10
20-40	373 ± 57	320 ± 20	379 ± 94	283 ± 6,0	720 ± 36	893 ± 4
40-60	360 ± 61	295 ± 7	355 ± 67	273 ± 8	612 ± 23	892 ± 9
60-80	360 ± 61	296 ± 21	321 ± 50	275 ± 7	510 ± 23	892 ± 9
80-100	328 ± 45	280 ± 13	328 ± 47	246 ± 21	510 ± 18	716 ± 97
Limo +Arcilla (mg kg ⁻¹)						
0-20	643 ± 37	531 ± 15	571 ± 85	682 ± 18	249 ± 24	92 ± 10
20-40	626 ± 57	680 ± 21	620 ± 94	717 ± 6	280 ± 36	107 ± 1
40-60	640 ± 61	705 ± 8	644 ± 67	727 ± 8	388 ± 23	108 ± 9
60-80	665 ± 37	703 ± 21	678 ± 58	725 ± 7	490 ± 23	195 ± 82
80-100	671 ± 45	720 ± 18	671 ± 47	753 ± 21	490 ± 97	283 ± 13

Además, se tomaron muestras de suelo a 0-5, 5-10 y 10-20 cm para cuantificar dos índices de estratificación de COS, los cuales se calcularon dividiendo el porcentaje de COS a 0-5 cm por los porcentajes de COS a 5-10 cm (0-5/5-10) y a 10-20 cm (0-5/10-20), respectivamente. Se analizaron las concentraciones de C para cada profundidad entre los tratamientos y los

índices de estratificación con ANOVA y comparación de medias por test de Tukey a un nivel de significancia del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En términos generales, la concentración de COS más baja se encontró en la situación de rodal maduro de *Eucalyptus* de los sitios arenosos (GEu 8-10) en todo el perfil, mientras que las más altas en general en todos los suelos arcillosos, y en particular en las plantaciones forestales de edad madura (FEu 8-10, Figura 1). Las diferencias se corresponden con contrastes significativos en los contenidos de L+A o de arena entre sitios en las capas superiores que se reducen con la profundidad del perfil (Tabla 1). Varios investigadores documentaron la relación entre la fracción arcilla o la fracción fina (L+A) y la acumulación de COS, demostrando la protección que ejercen sobre la fracción orgánica a partir de por procesos de adsorción y protección física por agregados (Abramoff et al., 2018; Gruba & Socha, 2019).

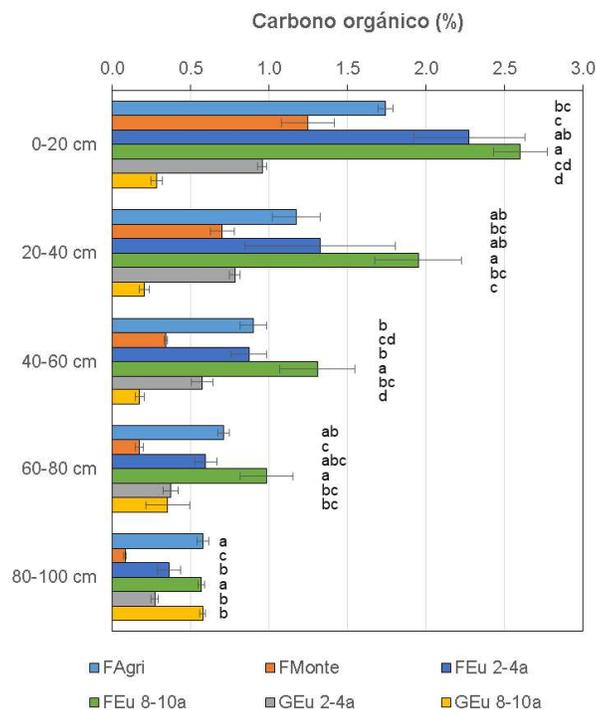


Figura 1. Contenido de COS (%) en estratos de 20 cm hasta los 100 cm de profundidad. Las barras pequeñas indican el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada profundidad ($P < 0,05$)

Al analizar las concentraciones de COS en plantaciones de *Eucalyptus*, se observa que no hay un efecto consistente de la edad de los rodales sobre la concentración de COS, ya que en el único caso donde las cantidades de COS fueron significativamente diferentes entre rodales de diferente edad, en los estratos 40-60 y 80-100 cm de suelos arcillosos, las cantidades de fracciones finas, limo + arcilla, en estos suelos (Tabla 1) podrían por sí solas justificar tal diferencia. Según Chen *et al.* (2019), durante los primeros años de la plantación (< 10 años), estos ecosistemas se comportan como fuentes de carbono débiles o son carbono neutral. Entre los años 10-20 del inicio de la forestación el C del suelo aumenta gradualmente y alcanzan su punto máximo entre 20–50 años. Este patrón temporal también fue documentado por Goulden *et al.* (2011) y Zhou *et al.* (2015) tanto en coníferas como latifoliadas (Li *et al.*, 2012). En nuestro trabajo, es probable que la diferencia etaria entre plantaciones de *E. grandis* no sea suficiente para observar cambios en el COS, estando

ambos grupos comprendidos en la etapa que Chen et al. (2019) llama como fuentes débiles de C o C neutral. Es importante destacar que en la región de estudio la cosecha forestal generalmente se realiza a los 12-14 años, momento en que se maximiza el retorno económico. Sin embargo, bajo este manejo no se estarían recuperando los niveles de COS que se pierden en las sucesivas rotaciones; aspecto ya planteado por Sandobal *et al.* (2012) para manejos aplicados en esta región. Los autores informaron, al analizar los contenidos de COS de pastizales y plantaciones de *E. grandis* con diferentes números de rotaciones, que se produjo una caída neta del orden del 60% a lo largo de 40 años. Frente a la necesidad de diseñar sistemas de manejo sostenibles bajo criterios que compatibilicen lo ambiental con lo económico, sería necesario considerar prolongar la edad de corta para facilitar los procesos de secuestro de COS y mantener la productividad de los suelos en las sucesivas rotaciones. El uso agrícola de los suelos ha sido relacionado con disminuciones en los contenidos del COS (Alvarez et al, 2014). El suelo agrícola presentó en los lotes considerados una concentración de COS significativamente más alta al monte nativo a partir de los 40 cm de profundidad, y similar a la hallada en las plantaciones forestales de suelos finos para la mayor parte de las profundidades analizadas. De cualquier manera, los suelos forestales representan una parte sustancial de la reserva de C terrestre y los cambios en el ciclo del C del suelo son importantes a nivel mundial no solo para el secuestro de C sino también para el mantenimiento de la capacidad productiva de los montes y de los servicios ecosistémicos que brindan (James y Harrison, 2016). Los menores contenidos de COS en los suelos bajo monte nativo con respecto a las otras situaciones con textura fina, e incluso a los suelos con textura gruesa por debajo de los 60 cm, se deben probablemente a la baja productividad primaria neta del monte, observada in situ en los muestreos, debida a condiciones alcalinas en la mayor parte del perfil (Tabla 2), desfavorables para la fertilidad física general de la situación

Tabla 2. Valores de pH (suelo: agua 1:2,5) de los suelos de las situaciones estudiadas hasta los 100 cm de profundidad.

Profundidad	pH H ₂ O 1:2,5					
	FAgri	FMonte	FEu 2-4a	FEu 8-10a	GEu 2-4a	GEu 8-10a
0-5 cm	5,7	6,2	5,7	6,2	5,7	5,9
5-10 cm	6,2	7,1	6,0	6,2	5,7	5,5
10-20 cm	6,4	8,0	6,2	6,3	5,4	5,5
20-40 cm	6,7	8,4	6,6	6,5	5,5	5,6
40-60 cm	7,0	8,9	7,0	7,0	5,9	5,5
60-80 cm	7,4	9,1	7,9	7,5	6,5	5,4
80-100 cm	7,6	9,4	8,6	8,2	6,9	5,4

A excepción de GEu 8-10a, donde se observó un aumento del COS a partir de los 60 cm de profundidad; en el resto de los sitios la distribución vertical del COS disminuyó con la profundidad del suelo (Figura 1). El COS en GEu 8-10a aumentó hasta alcanzar valores estadísticamente similares a los sitios FAgri y FEu8-10a. Esto respondería al aumento en la proporción de L+A en estas profundidades (Tabla 1), producto del proceso de formación de estos suelos. Los Entisoles característicos de los sitios de textura gruesa presentan una discontinuidad litológica que puede aparecer a profundidad variable a partir de los 70 cm pasando de una textura areno- franco a franco- arenosa a materiales más densos franco-arcillo-arenoso a arcillosos (Tassi, 2009).

Los índices de estratificación IE 0-5/5-10 oscilaron entre 1,09 (FEu 8-10a) y 1,86 (Fmonte), sin diferencias estadísticas entre situaciones. Por su parte los índices de estratificación 0-5/10-20 oscilaron entre 1,15 (FEu 8-10a) y 2,97 (GEu 8-10 a), con diferencias significativas entre tratamientos ($p=0,01$). Si bien los suelos con mayor cantidad de fracción fina en su composición granulométrica, con plantaciones de *Eucalyptus* de edad madura, presentaron en ambos casos los índices de estratificación menores, no parece haber una relación consistente entre estos índices y el uso o la edad de los rodales, por lo que en este contexto

no parecen ser indicadores apropiados del funcionamiento o salud del suelo; estudios de otras zonas y sistemas también revelan limitaciones de estos índices (Fernández Romero et al., 2016).

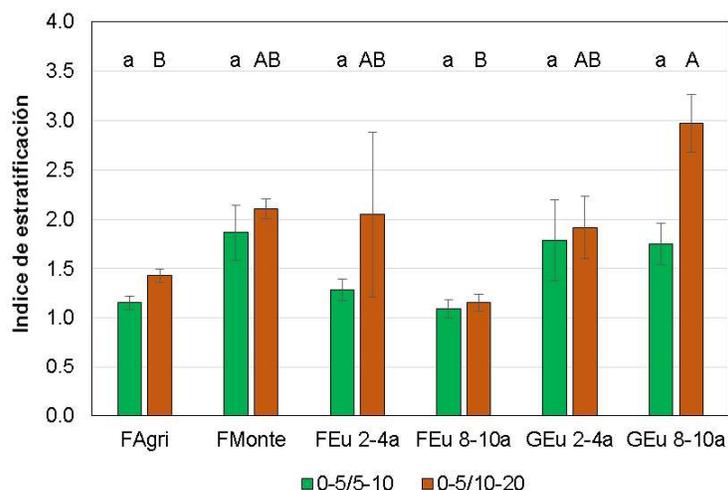


Figura 2. Índices de estratificación para las situaciones estudiadas. Las barras pequeñas indican el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$), las minúsculas corresponden al índice 0-5/5-10 y las mayúsculas al índice 0-5/10-20.

Aunque los índices propuestos no llegaron a evidenciarlo fuertemente, en el monte nativo, la disminución del COS con la profundidad del suelo fue más acentuada en comparación a otros usos, siendo la concentración de COS en 0-20 cm 15 veces mayor respecto de 80-100 cm. En el resto de los sitios esta relación nunca fue mayor a 6. Este comportamiento podría relacionarse con altos niveles de sodicidad que presenta el suelo representando una limitante al desarrollo de raíces de la vegetación nativa por debajo de los 40 cm; en esta situación el pH del suelo aumentó de neutro a ligeramente ácido (6,2-7,1) en superficie a fuertemente alcalino (9,4) con la profundidad de perfil, siendo el pH a partir de los 40 cm significativamente más alto respecto de los restantes sitios (Tabla 2).

CONCLUSIONES

En el presente trabajo la concentración de COS se vio principalmente condicionadas por la textura del suelo, siendo mayor en los suelos de textura fina en comparación a los suelos de textura gruesa (G). Para los sitios con forestaciones de *Eucalyptus grandis* y el rango de edades estudiadas, la edad de la plantación no fue un factor que influyó en la concentración de COS en los diferentes estratos. En suelos de similar textura con uso forestal se acumuló similar concentración de COS que en aquellos con uso agrícola, y en ambos casos la acumulación de COS fue mayor que en monte nativo de similar textura, pero con características sódicas que limitan el crecimiento vegetal. No se detectó una relación consistente entre los índices de estratificación propuestos y la textura, el uso o la edad de los rodales, por lo que en este contexto no funcionaron como indicadores apropiados del funcionamiento o salud del suelo.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por el Proyecto de Investigación Aplicada PIA 14085 (programa BID 2853/OC-AR). Agradecemos al Establecimiento El Potrero de San Lorenzo y a todo su personal por la colaboración recibida que permitieron y facilitaron nuestra tarea.

BIBLIOGRAFIA

Abramoff, R; X Xu & M Hartman. 2018. The Millennial model: in search of measurable pools and transformations for modeling soil carbon in the new century. *Biogeochemistry* 137:51–71.

- Alvarez, R; J de Paepe; H Steinbach; G Berhongaray; MM Mendoza; AA Bono; NF Romano; R Cantet & R Alvarez. 2014. Chapter 2: Land use effects on soil carbon and nitrogen stocks and fluxes in the Pampas: Impact on productivity. En: Aquila Margit (ed.). Soil Carbon. Nova Publishers, NY, USA. ISBN: 978-1-63117-438-4. Pp: 51-90.
- Cook, R; D Binkley & JL Stape. 2016. *Eucalyptus* plantation effects on soil carbon after 20 years and three rotations in Brazil Forest Ecology and Management. Volume 359, 1 January 2016, Pages 92-98
- Chen, Z; G Yu & Q Wang. 2019. Effects of climate and forest age on the ecosystem carbon exchange of afforestation. *J. For. Res.* <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00946-5>
- Díaz Zorita, M & JH Grove. 2002. Duration of tillage management affects carbon and phosphorus stratification in phosphatic Paleudalfs. *Soil & Tillage Research* 66: 165-174.
- Dixon, RK; S Brown; RA Houghton; AM Solomon; MC Trexler & J Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185-190
- Fernández-Romero, ML; L Parras-Alcántara; B Lozano-García; JM Clark & CD Collins. 2016. Soil quality assessment based on carbon stratification index in different olive grove management practices in Mediterranean areas. *Catena* 137 449-458.
- Franzluebbers, AJ. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil & Tillage Research* 66: 95-106.
- Gruba, P & J Socha . 2019. Exploring the effects of dominant forest tree species, soil texture, altitude, and pH_{H2O} on soil carbon stocks using generalized additive models. *Forest Ecology and Management* 447-105:114.
- Goulden, ML; MAS McMillan; GC Winston; AV Rocha; KL Manies; JW Harden & BP Bond-Lamberty. 2011. Patterns of NPP, GPP, respiration, and NEP during boreal forest succession. *Glob Change Biol* 17:855–871
- James, J & R Harrison 2016. The Effect of Harvest on Forest Soil Carbon: A Meta-Analysis. *Forests* 7, 308.
- Lal, R. 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security *SCIENCE VOL 304 11 JUNE 2004*
- Li, DJ; SL Niu & YQ Luo. 2012. Global patterns of the dynamics of soil carbon and nitrogen stocks following afforestation: a metaanalysis. *New Phytol* 195:172–181
- Ordóñez, B; HJ De Jong & O Maser. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus*, Michoacán. *Madera y Bosques* 7(2):27-47
- Schjønning, P; JL Jensen; S Bruun; LS Jensen; BT Christensen; LJ Munkholm; M Oelofse; S Baby & L Knudsen. 2018. Chapter Two - The Role of Soil Organic Matter for Maintaining Crop Yields: Evidence for a Renewed Conceptual Basis. *Advances in Agronomy* 150: 35-79.
- Tassi HAA. 2009. Aplicación de las Cartas de Suelos de Entre Ríos, Argentina, para evaluar índices de productividad específicos para los principales cultivos agrícolas Universidade da Coruña ISBN 978-84-693-3262-7
- West, TO & WM Post. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1930-1946.
- Zhou, T; P Shi; G Jia; Y Dai; X Zhao; W Shangguan; L Du; H Wu & Y Luo. 2015. Age-dependent forest carbon sink: Estimation via inverse modeling, *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, 120, 2473–2492, doi:10.1002/2015JG002943.