



## RELEVAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE SISTEMAS PRODUCTIVOS DE ARGENTINA, CON ÉNFASIS EN MESOPOTAMIA

Javier GYENGE<sup>1</sup>, Ana LUPI<sup>2</sup>, Gabriel GATICA<sup>1</sup>, Martín SANDOVAL<sup>3</sup>, Matías GAUTE<sup>4</sup>, Mario FLORES PALENZONA<sup>5</sup>, María GARCÍA<sup>6</sup>, Juan Pablo ZABALA<sup>7</sup>, Sebastián BESSONART<sup>7</sup>, Federico CANIZA<sup>8</sup>, Martín LÓPEZ<sup>9</sup>, Marcelo FALCONIER<sup>10</sup>, Marina D'ÁNGELO<sup>10</sup>, Alejandra VON WALLIS<sup>11</sup>, Iris FIGUEREDO<sup>11</sup>, Marcos COSTA<sup>11</sup>, Diego AQUINO<sup>11</sup>

### RESUMEN

Se analizó la capacidad de distintos usos de la tierra de almacenar carbono orgánico en los primeros 30cm de suelo (COS) en las provincias que conforman la Región Mesopotámica, trabajo realizado en el marco del relevamiento nacional sobre el contenido de COS de plantaciones forestales. La cantidad de datos de COS de los usos de la tierra más comunes de la región revela la necesidad de incrementar la información en algunos de ellos para poder establecer el impacto sobre dichas reservas de carbono. En promedio, el COS fue de 51,7, 52,1 y 72,6 Mg/ha para Entre Ríos, Corrientes y Misiones, respectivamente. Mientras que no se determinaron diferencias significativas en el COS entre los usos de la tierra en las provincias de Misiones y Corrientes, en Entre Ríos el COS promedio de las líneas base fue mayor que los otros usos, mostrando valores intermedios y bajos de COS en las plantaciones forestales, destacándose *E. grandis* con respecto a *E. dunnii* y *P. taeda*. No se encontraron relaciones significativas entre la acumulación de COS y la edad de las forestaciones, aunque se discuten algunas inferencias a partir del manejo actual de las forestaciones.

**Palabras claves:** Carbono orgánico del suelo, plantaciones forestales, mitigación del cambio climático, cambio en el uso del suelo

### 1. INTRODUCCIÓN

El suelo conforma una de las principales reservas globales de carbono orgánico (COS), estimándose que en el primer metro almacena casi el doble de C que el contenido en la atmósfera y el triple que el que se encuentra en la vegetación terrestre (FAO y ITPS, 2015). Es importante resaltar que no todos los suelos y/o ambientes muestran la misma capacidad de almacenar carbono. Sumado a ello, la magnitud de COS es un valor dinámico ya que es el producto del balance entre las entradas y salidas de diversas moléculas de C. En este sentido, surge el concepto de saturación de carbono en el suelo, que define a la máxima cantidad de C que un suelo puede contener (Stewart et al., 2007). Este umbral depende de muchos factores abióticos y bióticos, que a la vez pueden ser dinámicos o estáticos, y que determinan que un sistema pueda seguir comportándose como sumidero de C o incluso como fuente, si las condiciones ambientales no favorecen los procesos de estabilización del mismo. En este marco, surge la necesidad de determinar no sólo el COS de los distintos usos de la tierra sino también, las condiciones ambientales en los que suceden.

<sup>1</sup> UEDD IPADS INTA CONICET sede Tandil / Javier\_gyenge@yahoo.com

<sup>2</sup> Instituto de Investigación Suelos CIRN INTA

<sup>3</sup> Lab. de Investigación de Sist. Ecológicos y Ambientales (LISEA) FCAYF UNLP

<sup>4</sup> Área SIG e Inventario Forestal DNDFI

<sup>5</sup> Técnico Regional DNFI, Entre Ríos

<sup>6</sup> EEA Concordia INTA

<sup>7</sup> Técnico Regional DNFI, Corrientes

<sup>8</sup> EEA Bella Vista INTA

<sup>9</sup> Técnico Regional Misiones N.E. Corrientes

<sup>10</sup> Técnico Regional Misiones

<sup>11</sup> EEA Montecarlo INTA



En el marco de un trabajo conjunto entre la Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial (DNDFI -MAGyP) y el Programa Nacional Forestales (PNFOR) del INTA se analizó la cantidad de carbono orgánico del suelo (COS) a 0-30 cm de profundidad de las plantaciones forestales del país. De manera paralela, se obtuvieron y analizaron muestras de suelos en distintas forestaciones siguiendo un protocolo de trabajo previamente consensuado, así como también, se generó una búsqueda de información publicada en distintos ámbitos científicos (revistas internacionales, tesis e informes técnicos). En total se recabaron 859 datos individuales de COS a partir de 352 datos obtenidos por el relevamiento de campo (la información se volcó en el Visor Cartográfico de la Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial; <https://visor-geoforestal.sigforestal.repl.co/>) y 507 de la bibliografía. Si bien el foco estuvo localizado en la capacidad de los suelos con **plantaciones forestales**, también se aplicó el mismo protocolo para obtener muestras de suelos bajo una cobertura vegetal con escaso impacto antrópico (**línea base**) y otros sometidos a distintos usos productivos (**usos alternativos**). Estos tres niveles de agregación se los denominó Usos de la tierra, que a la vez, estuvieron conformados por distintas Clases de uso de la tierra:

**Línea base o referencia:** representa aquellos sitios sin intervención (o con bajo nivel de intervención humana) y con cobertura vegetal natural: **Bosque nativo** representando una cobertura leñosa con distinto grado de cobertura (bosque denso o ralos, incluyendo del tipo sabana y arbustales) y **Pastizal** o vegetación espontánea en áreas sin o con bajo niveles de uso (ej., ganadería).

**Uso alternativo productivo:** Otros usos de la tierra que son frecuentes para la región y en donde se verifica un manejo con mayor intensidad que el grupo anterior: **cultivos anuales:** son todos aquellos cultivos que exijan una preparación de terreno o cosecha de manera anual. Este manejo implica un uso intensivo de la tierra con relativo alto tránsito de maquinaria y cambios periódicos en la cobertura vegetal; **pasturas:** herbáceas cultivadas para uso ganadero; **pastizales antropizados:** cobertura en mayor grado dado por herbáceas que permanecen varios años en el terreno y están bajo uso ganadero con moderada o alta carga en ambientes que originalmente fue pastizal o bosque; **cultivos leñosos:** Aquellos cultivos de especies que forman estructuras leñosas y permanecen varios años en el terreno, tales como los frutales o yerba mate.

**Plantaciones forestales:** Sitios en el cual el uso de la tierra se refiere al cultivo de especies leñosas. Sus clases se refieren a la categoría taxonómica relacionada con el género cultivado y al origen para el caso de las plantaciones con especies nativas: **Pinus spp.** Distintas especies del género *Pinus*; **Eucalyptus spp.** Distintas especies del género *Eucalyptus*.

## 2. PRINCIPALES RESULTADOS RELACIONADOS CON LA REGIÓN MESOPOTÁMICA

En el informe final en donde se resume la información del relevamiento nacional, se muestran los análisis estadísticos utilizados para analizar las diferencias en el COS de los distintos usos y clases de uso de la tierra, teniendo en cuenta la ubicación geográfica de cada dato. Esta información permitió determinar la ecorregión o cuenca forestal a la que pertenecen e incluso, incorporar variables ambientales desde distintas fuentes. Para el caso particular de la región Mesopotámica, el análisis estadístico (*backward selection procedure*) entre la relación de la variación de COS de las forestaciones con especies de rápido crecimiento y las variables ambientales indicó que la estacionalidad de la precipitación media anual (PMA; coeficiente de variación interanual en %; variable Bio15 de WorldClim; <http://www.worldclim.com>) y el porcentaje de arcilla del suelo (%; Schulz et al. 2022) fueron las dos variables que explicaron en mayor grado dicha variación de COS ( $R^2= 0,34$ ). Estas mismas variables, tenidas en cuenta de manera independiente, explicaron en menor grado la variación de COS ( $R^2= 0,26$  y  $0,29$  para la estacionalidad de la precipitación media anual y el contenido de arcilla del suelo, respectivamente). Las ecuaciones ajustadas siguieron las siguientes formas (parámetro  $\pm$  desvío estándar, DS):

COS = exponencial ( $5,0806 \pm 0,7528 - 0,00054 \pm 0,00035$  (estacionalidad de la PMA) +  $0,02609 \pm 0,00745$  (porcentaje de arcilla del suelo))

COS = exponencial ( $5,848 \pm 0,297 - 0,089 \pm 0,014$  (estacionalidad de la PMA))

COS = exponencial ( $3,061 \pm 0,141 + 0,031 \pm 0,004$  (porcentaje de arcilla del suelo))

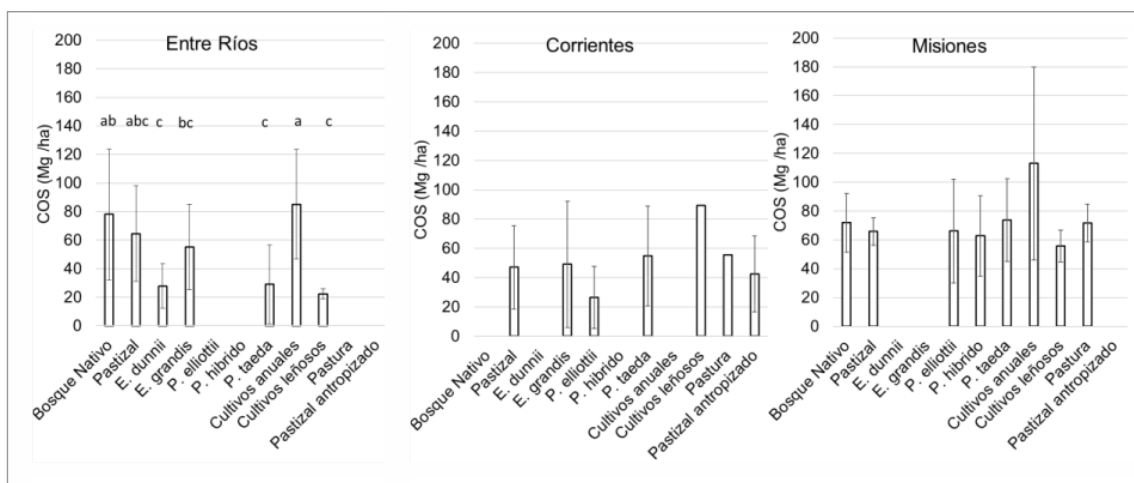


Del total de datos recabados a nivel nacional, se obtuvieron 207 datos para la región, distribuidos en 69 para las dos clases de la línea base (pastizal y bosque nativo), 38 para plantaciones con *Eucalyptus* spp. (*E. grandis* y *E. dunnii*), 48 para plantaciones con *Pinus* spp. (*P. taeda*, *P. elliotii* e híbrido) y 52 datos para las clases de uso alternativo (Cuadro 1). Las plantaciones con *E. grandis* estuvieron relativamente bien representadas en la provincia de Entre Ríos (28 datos; Cuadro 1), en donde sería necesario incorporar más datos relacionados con plantaciones de *E. dunnii* y *P. taeda* y/o de cultivos leñosos, para aumentar la capacidad de contrastar distintos usos productivos de la tierra. Para la provincia de Corrientes se han recabado entre 6 y 10 datos de plantaciones, con una baja representación de usos alternativos de la tierra relacionados con cultivos leñosos y pasturas (Cuadro 1). Finalmente, la provincia de Misiones cuenta con una alta densidad de datos, en donde sería recomendable aumentar el número de muestras para plantaciones con pinos híbridos (Cuadro 1).

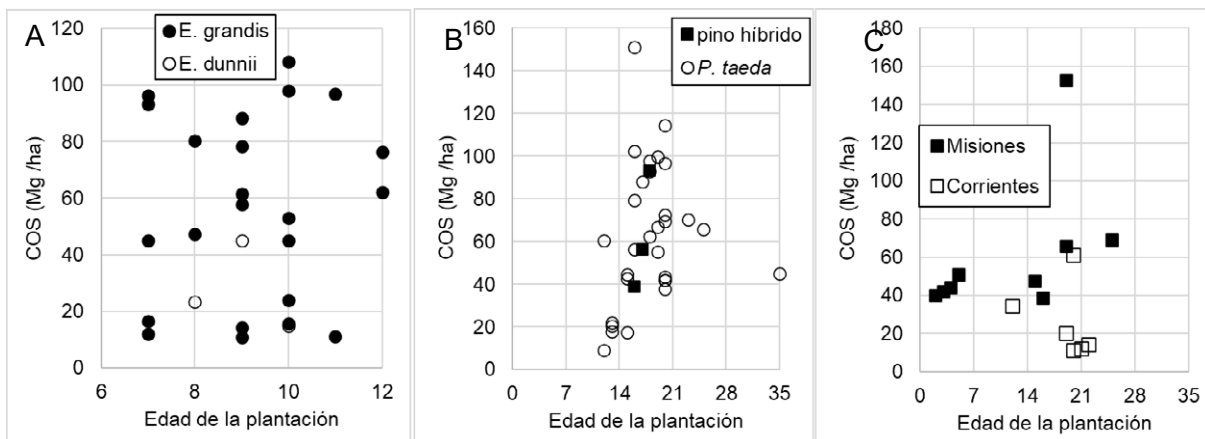
**Cuadro 1.** Cantidad de clases de uso de la tierra en donde se obtuvo un dato de COS (Mg /ha) discriminado por provincias y en total para la región Mesopotámica. (--) no registra datos.

Clases de uso de la tierra	Entre Ríos	Corrientes	Misiones	Total
Bosque Nativo	9	--	20	29
Pastizal	16	21	3	40
<i>Eucalyptus dunnii</i>	3	--	--	3
<i>E. grandis</i>	28	7	--	35
<i>Pinus elliotii</i>	--	6	9	15
P. híbrido	--	--	3	3
<i>P. taeda</i>	3	10	17	30
Cultivos anuales	10	--	3	13
Cultivos leñosos	3	1	11	15
Pastura	--	1	6	7
Pastizal antropizado	--	17	--	17
<b>Total</b>	<b>72</b>	<b>63</b>	<b>72</b>	<b>207</b>

Se analizaron las diferencias entre las distintas clases de uso del suelo en cada una de las provincias mesopotámicas mediante la aplicación de una ANOVA de una vía. Este análisis indicó que solamente en la provincia de Entre Ríos se observaron diferencias entre las clases de uso del suelo (Gráfico 1). Allí, las plantaciones forestales con *P. taeda*, *E. dunnii* y cultivos leñosos mostraron los menores valores sin diferencias significativas entre ellas (COS promedio 26,4 Mg/ha; Gráfico 1). Por el contrario, las dos clases de usos del suelo de la línea base y los cultivos herbáceos mostraron los mayores valores (COS promedio 75,9 Mg /ha; Grafico 1). El COS promedio de las plantaciones forestales con *E. grandis* mostró valores intermedios (55,2 Mg/ha; Grafico 1). En promedio, el COS por provincia fue de 51,7, 52,1 y 72,6 Mg /ha para Entre Ríos, Corrientes y Misiones, respectivamente.



**Gráfico 1.** Carbono orgánico del suelo (COS, Mg/ha) para las distintas clases de uso de la tierra para las tres provincias mesopotámicas. Letras distintas indican diferencias significativas entre las clases de uso de la tierra. No se determinaron diferencias significativas en las provincias de Corrientes y Misiones.



**Gráfico 2.** Carbono orgánico del suelo (COS, Mg/ha) en relación con plantaciones de *Eucalyptus* spp. (A), *Pinus* spp. (B) y *P. elliotii* en Misiones y Corrientes (C).

No se encontró una relación entre la acumulación de COS y la edad de las forestaciones con *Eucalyptus* spp. ni con *Pinus* spp. (Gráfico 2). En el caso de los *Eucalyptus* spp. y en particular para *E. grandis*, el valor de COS fluctuó desde 10 a 100 Mg COS/ha desde los 7 a los 12 años (Gráfico 2A). Este patrón acuerda con lo observado por otros autores (Sandoval Lopez et al., 2020; Lupi et al., 2021). En el caso de las plantaciones con *Pinus taeda* se observa un incremento del COS hasta los 20 años de edad, encontrándose un patrón inverso en los pocos datos obtenidos para edades superiores (Gráfico 2B). En la actualidad, las plantaciones de *P. taeda* en la región se están cosechando a edades menores de 20 años. En este marco, si bien se observa un incremento de COS con la edad, la relación es baja ( $R^2=0,16$ ;  $COS = 4,99 \text{ edad} < 20 \text{ años} - 21,82$ ). En relación con *P. elliotii*, se observan patrones distintos comparando plantaciones situadas en Misiones o Corrientes (Gráfico 2C). Para Misiones se observa un cambio de 40 a 70 Mg/ha de COS a lo largo de una cronosecuencia de 28 años (sin tener en cuenta un dato muy alto para esta provincia; Gráfico 2C). Para el caso de Corrientes se observa una disminución del COS, de 40 a menos de 10 Mg/ha, en plantaciones de 14 a 21 años (Gráfico 2C). Si bien los patrones de la relación entre el COS y la edad detallados por otros autores (e.g. Iglesia et al., 2012) muestran comportamientos positivos y distintos según la precipitación media del sitio, los patrones descritos en este trabajo han sido reportados para plantaciones con pinos en otras regiones del país.

### 3. CONCLUSIONES

El carbono orgánico en los primeros 30 cm de suelo (COS) de las plantaciones forestales en la región Mesopotámica mostraron, en términos generales, valores similares a las líneas bases, excepto en la provincia de Entre Ríos para las plantaciones con *E. dunnii* y *P. taeda*. Se recomienda aumentar el número de casos de algunos usos del suelo para poder evaluar el impacto del cambio de uso del suelo sobre el COS. En términos generales no se observó una relación entre la edad de las plantaciones y la acumulación del COS. En el caso particular de las plantaciones con *Pinus* spp., se recomienda mayores estudios en plantaciones de edades cercanas a la corta para evaluar patrones contradictorios.

### 4. AGRADECIMIENTOS

Las actividades fueron financiadas por el INTA y la DNDFI. Las siguientes personas / empresas facilitaron el acceso a sus campos: Eksarciyan Bogos Asadur Calabacilla y San Gregorio, Comercio y Desarrollo Ea. Palmar, Bomare Miralejos, Giudice Los Niestos, Foresta Argentina SA, Dacunda Cnia. La Paz, Forescor, Zunino-Velazquez, Finondo, Carlos Rafael, Abedul SA, Bosques del Plata, Las Marias Maria Concepción, Tapebicua, López Maria Silvia, USAL, Ferrum SA de Cerámica y Metalurgia, Fideicomiso forestal Euca Forest – Salinas, Empresas Verdes S.A. (EVASA), Empresa Williner. Establecimiento las Taperitas, Enrique Zeni, Pindo SA, Lipsia SA, Steven Alfredo, Simon Juan, Rauschmayr Maria, Papel Misionero, Sr. Felix (Vecino de empresa Papel Misionero), Isischu SRL, Buchinsky Tito, Frank Ralf, Est. Santa Cecilia.



## 5. LITERATURA CITADA

- ECLESIA, R. P.; JOBBAGY, E. G.; JACKSON, R. B.; BIGANZOLI, F.; PIÑEIRO, G. 2012. Shifts in soil organic carbon for plantation and pasture establishment in native forests and grasslands of South America. *Global Change Biology* 18, 3237–3251, doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02761.x.
- FAO y ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources: Main Report. Roma, Italy. ISBN 978-92-5-109004-6. 650 pp.
- LUPI, A.; STEINBACH, H. S.; CIARLO, E.; ROMANIUK, R.; COSENTINO, V. R. N.; RIMSKI-KORSAKOV, H.; ÁLVAREZ, C. R. 2021. Organic carbon stored in soils under different land uses and soil textures in southeast Argentinean Mesopotamia. *Geoderma Regional* 27: e00435.
- SANDOVAL LÓPEZ, D. M.; ARTURI, M. F.; GOYA, J. F.; PÉREZ, C. A.; FRANGI, J. L. 2020. *Eucalyptus grandis* plantations: effects of management on soil carbon, nutrient contents and yields. *Journal of Forest Research* 31:601–611. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0850-z>
- SCHULZ, G. A.; RODRÍGUEZ, D. M.; ANGELINI, M. E.; MORETTI, L. M.; OLMEDO, G. F., TENTI VUEGEN, L. M.; COLAZO, J. C., GUEVARA, M. O. 2022. Digital soil texture maps of Argentina (2.0) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6312654>
- STEWART, C. E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R. T.; PLANTE, A. F.; SIX, J. 2007. Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation. *Biochemistry*, 86: 19-31. DOI 10.1007/s10533-007-9140-0