

## **ESTIMACIÓN DEL APORTE DE CARBONO HUMIFICADO AL SUELO EN LA AGRICULTURA EXTENSIVA BONAERENSE**

Presutti, M.E.<sup>1-3</sup>, L.A. Gusmerotti<sup>1</sup>, E.A. Abbona<sup>2-3</sup>

<sup>1</sup> Manejo y Conservación de Suelos. FCAYF. UNLP;

<sup>2</sup> Agroecología. FCAYF. UNLP;

<sup>3</sup> LIRA (Laboratorio de Investigación y Reflexión en Agroecología. 60 y 119, La Plata, Bs.As, Argentina, presutti@agro.unlp.edu.ar

### **RESUMEN**

La materia orgánica del suelo (MOS) es un indicador de la sustentabilidad de los agroecosistemas; donde las entradas de carbono (C) están dadas por los rastrojos, raíces y exudados radiculares, fotosíntesis mediante, mientras que las salidas son las pérdidas por mineralización y erosión. El objetivo de este trabajo fue estimar el aporte anual de C humificado al suelo aplicando un modelo de partición de C en la planta tanto a nivel provincial como municipal en la provincia de Buenos Aires. Para evaluar la evolución en el tiempo se analizaron dos períodos de tres campañas cada uno, separados por dos décadas. Para cada cultivo se estimó la cantidad de rastrojos y raíces, a partir de los rendimientos (kg/ha) promedios trienales de cada partido, para cada cultivo individualmente y de los índices de cosecha (IC). Considerando un contenido del 45% de C en todas las partes de la planta y mediante coeficientes de humificación se obtuvo el C humificado que aporta cada cultivo. Finalmente ponderando los valores por las superficies ocupadas por cada uno se obtuvo un valor para cada partido en ambos periodos. Estos datos fueron mapeados utilizando el software libre QGIS.

**Palabras clave:** sustentabilidad, rastrojos, materia orgánica.

### **INTRODUCCIÓN**

La materia orgánica del suelo (MOS) es un indicador de la sustentabilidad de los agroecosistemas. Las entradas de carbono (C) al suelo están dadas por los rastrojos, raíces y exudados radiculares, fotosíntesis mediante; mientras que las salidas se producen por pérdidas por mineralización, respiración microbiana y erosión. El ingreso de C al suelo depende de la calidad y cantidad de residuos de cosechas y biomasa de raíces, que varía según la especie cultivada y el rendimiento de las mismas. El proceso de descomposición de los residuos orgánicos depende del ambiente químico generado por el propio residuo y de su interacción con los microorganismos del suelo (Richmond y Rillo, 2009). Así, los cereales dejan una importante cantidad de restos sobre el suelo, mientras que en otros son muy escasos, como los de las oleaginosas. Por su parte, la calidad de los residuos se refiere esencialmente a su relación carbono/nitrógeno (C/N). En rotaciones con mayor proporción de gramíneas el balance de C es positivo, mientras que en una rotación con mayor frecuencia de soja los balances son negativos (Studdert et al., 2000; Martínez et al., 2019).

Las labranzas también influyen en el contenido de MOS; generalmente, cuando un suelo es cultivado con laboreo convencional su nivel disminuye. La adopción de la siembra directa es de aproximadamente el 90% como promedio nacional para los cultivos de trigo, maíz y soja (Bolsa de Cereales, 2022).

En la Región Pampeana se produjo una importante disminución de los niveles de MO, contrastando valores en suelos prístinos y luego de décadas de uso agrícola (Sainz Rozas et al., 2019); paralelamente en la agricultura extensiva, existe un predominio del cultivo de soja respecto de las gramíneas estivales.



El objetivo de este trabajo fue estimar el aporte anual de C humificado en la capa superficial del suelo generado por los cultivos extensivos en la provincia de Buenos Aires. Para evaluar su evolución en el tiempo se analizaron dos periodos de tres campañas cada uno, separados por dos décadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para predecir cambios de C en el suelo, es importante contar con estimaciones confiables de productividad neta de la vegetación y la proporción que vuelve al suelo (Bolinder, 2007). Se han propuesto diferentes modelos de balance de C en el suelo, con diferente complejidad. Algunos estiman la cantidad de rastrojos a partir de los rendimientos (dato de relativa fácil obtención), mediante el índice de cosecha (IC), el cual expresa el rendimiento en granos en relación a la materia seca total de la parte aérea de la planta. La estimación de la biomasa subterránea, tiene mayor incertidumbre y variabilidad en la bibliografía, pudiéndose calcular a partir de la relación Tallo/Raíces o bien como porcentajes respecto de la parte aérea. Alvarez (2006) propone un modelo para el cálculo del rastrojo a partir de la relación Paja/Grano en la Pampa Ondulada, y utiliza coeficientes para obtener el aporte de C y el C humificado de los cultivos más comunes (los resultados de la aplicación de este modelo se muestran en otro trabajo).

En este análisis, se consideraron los datos consignados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP) de superficie cosechada, producción y rendimiento de los cultivos de trigo, soja de primera y de segunda y maíz para todos los partidos de la provincia de Buenos Aires. Se promediaron los datos de tres campañas en dos periodos: Período 1: 2000/01 a 2002/03 y Período 2: 2018/19 al 2020/21. El rendimiento fue calculado dividiendo el promedio de la producción (t) de las tres campañas por el promedio de la superficie cosechada en el mismo período. El aporte de carbono al suelo por cada cultivo se estimó utilizando el modelo del INTA Pergamino (Agosti et al., 2020) que se grafica en la Fig.1. Los rendimientos (kg/ha) promedios trienales de cada partido, para cada cultivo individualmente, fueron corregidos por humedad y expresados en Kg MS/ha (considerándose la humedad a cosecha de 14% para trigo y soja y 14,5% para maíz). Con ese valor y el Índice de Cosecha (IC=0,4 para trigo y soja y de 0,5 para maíz) se calculó la Biomasa Aérea Total (BAT= Rendimiento MS / IC), que incluye el grano cosechado más los rastrojos. Por lo tanto, la Biomasa Aérea (BA) o rastrojo se calculó como la diferencia entre la BAT y el peso de los granos cosechados. Se asume que todo el rastrojo vuelve al suelo (sin pastoreo). La Biomasa de raíces (BR), se calculó como un 30% de la BAT para todos los cultivos, valor que incluye la rizodeposición. Considerando un contenido de C del 45% en todas las partes de la planta, se calculó el aporte de C al suelo proveniente de los rastrojos y raíces (BA+BR). Finalmente se calculó el C humificado, como porcentaje del aporte y variable según cultivo (13% en trigo y maíz y 17% en soja). Se obtuvo así, la cantidad de C humificado (kg/ha) por cultivo individual y promedio de tres campañas en cada periodo.

El cálculo del C humificado aportado por todos los cultivos en cada partido, se realizó como la sumatoria del producto del C humificado de cada cultivo por el promedio de su superficie cosechada en el periodo, dividido por el total de superficie cosechada con todos los cultivos en el partido. Para calcular la superficie ocupada por el doble cultivo, trigo/soja 2da, se consideraron dos situaciones posibles de encontrar en los partidos: *i*) en aquellos donde la superficie dedicada a trigo es superior a soja de 2da, se asigna al doble cultivo aquella dedicada a soja de 2da, y la superficie remanente se asume que se realizó solo a trigo. Otra situación *ii*) donde existe una mayor superficie dedicada a soja 2da que a trigo, se asigna al doble cultivo, la superficie consignada a trigo quedando un remanente de superficie dedicada a soja de 2da (sembrada sobre otro cultivo no considerado en este análisis). En ambas situaciones las superficies destinadas a soja 1era y maíz es el promedio trienal en cada período. Se generaron mapas utilizando el software libre QGIS para observar la distribución espacial del C Humificado (kg/ha) en los dos periodos analizados y evaluar los cambios entre ambos.



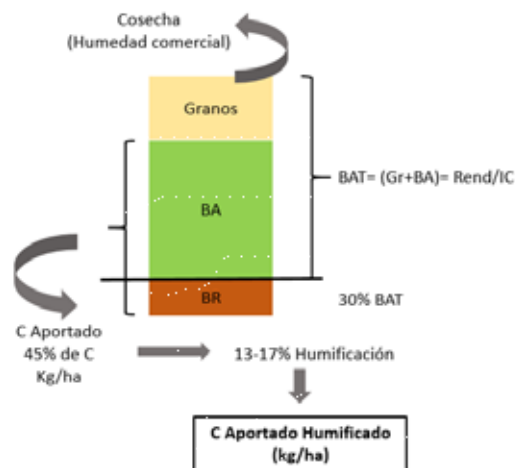


Figura 1. Esquema del modelo de estimación de aporte de carbono humificado para cultivos de granos

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Analizando los datos estadísticos de la provincia de Buenos Aires (Figura 2) se observa que, en promedio, la superficie dedicada al trigo en el período 2018-2021 registró una disminución del 27% respecto del período 2000-2003 aunque los rendimientos aumentaron un 48%. El cultivo de soja registró un incremento en la superficie (108% y 180% para soja de primera y de segunda respectivamente) aunque los rendimientos promedio tuvieron una baja en soja 2da (8%) y un leve aumento para las sojas de primera (18%). En tanto, el cultivo de maíz registró un aumento tanto en superficie (174%) como en rendimiento (26%).

En la Figura 3, se observa que el incremento en los rendimientos entre ambos períodos, especialmente maíz y trigo, elevan los aportes anuales de C al suelo que generan al aumentar el volumen de rastrojos (BA) y raíces (BR). Se destaca el aporte del doble cultivo trigo/soja 2da (5194 kg C/ha) y muy cercano el maíz que aportó al suelo 4989 kg C/ha como promedio provincial en el período 2; mientras que la soja 1era aportó 2963 y el trigo 3212 kg C/ha.

En cuanto al C que se humifica, se observa que la variación entre ambos períodos para cada cultivo individual fue de igual magnitud que el aumento en los rendimientos producidos (Tabla 1), siendo mayor para trigo, seguido de maíz y soja de 1era. El cultivo de soja 2da rinde entre 30-40% menos que las sojas 1era y en igual proporción es el aporte de C al suelo.

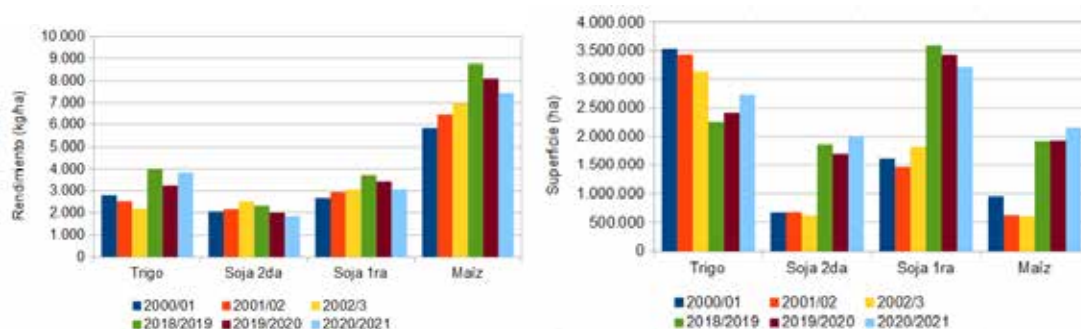


Figura 2. Superficies (ha) y rendimientos (kg/ha) de los cultivos en los períodos analizados.



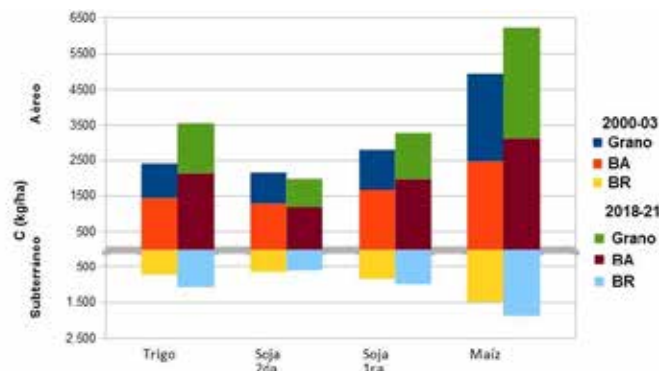


Figura 3. Contenido de C (kg/ha) aportado por los rastrojos (BA) y raíces (BR) para trigo, soja 1era y 2da y maíz, y el exportado por los granos en ambos periodos analizados.

Con los datos de la Tabla 1, se estimó la superficie dedicada al doble cultivo trigo/soja2da, al trigo, y a la cosecha gruesa mostrados en la Tabla 2. Para obtener un promedio provincial de C humificado en cada periodo se realizó la sumatoria del producto de los valores de C humificado de cada cultivo por su superficie (por ej. para el doble cultivo, 283 kg C humificado/ha + 330 kg/ha x 663422 ha), dividido por el total de superficie cosechada.

El promedio provincial se elevó desde los 392 a 585 kg/ha, que representa un incremento del 49% en dos décadas.

Tabla 1. Promedio trienal de Superficie cosechada (ha) y Rendimientos (kg/ha) y C humificado estimado (kg/ha) para cada cultivo en cada período, a nivel provincial.

		Promedio 3 campañas	
		Periodo 1. 2000-2003	Periodo 2. 2018-2021
<b>Superficie Cosechada (ha)</b>	<b>Trigo</b>	3.367.590	2.467.948
	<b>Soja 2da</b>	663.422	1.854.645
	<b>Soja 1ra</b>	1.638.711	3.415.616
	<b>Maíz</b>	728.220	1.997.523
<b>Rendimientos (kg/ha)</b> (Humedad a cosecha)	<b>Trigo</b>	2.496	3.688
	<b>Soja 2da</b>	2.231	2.049
	<b>Soja 1ra</b>	2.887	3.402
	<b>Maíz</b>	6.426	8.105
<b>C Humificado (kg/ha)</b>	<b>Trigo</b>	<b>283</b>	<b>418</b>
	<b>Soja 2da</b>	<b>330</b>	<b>303</b>
	<b>Soja 1ra</b>	<b>427</b>	<b>504</b>
	<b>Maíz</b>	<b>514</b>	<b>649</b>

Tabla 2. Superficie estimada al doble cultivo, trigo y cosecha gruesa, a nivel provincial.

		Promedio 3 campañas	
		Periodo 1. 2000-2003	Periodo 2. 2018-2021
<b>Superficie Cosechada (ha)</b>	Trigo/Soja	663.422	1.854.645
	Trigo	2.704.168	613.303
	Soja 1ra	1.638.711	3.415.616
	Maíz	728.220	1.997.523
<b>Total Superficie Cosechada (ha)</b>		<b>5.734.521</b>	<b>7.881.087</b>
<b>C Humificado (t)</b>	Trigo/Soja 2da	406.543	1.336.860
	Trigo	764.128	256.059
	Soja 1ra	700.347	1.720.276
	Maíz	374.498	1.295.604
<b>Σ C x Superficie</b>		<b>2.245.517</b>	<b>4.608.799</b>
<b>Promedio C Humificado (kg/ha)</b>		<b>392</b>	<b>585</b>



La misma metodología aplicada a nivel partido y graficada en los mapas, nos permite observar la variación espacial y temporal (Figura 4 a y b). En el Período 1 (2000-2003) el rango de aporte según partidos fue de 199 a 601 kg C humificado/ha, aumentado de S a N y de SE a NO. Mientras que en el Período 2 (2018-2021) el rango de aporte fue de 205 hasta 724 kg C humificado/ha, registrándose valores superiores a 700 en la zona Núcleo, producto del aumento de la superficie dedicada a trigo y maíz.

Comparando ambos periodos se registró en casi toda la provincia aumentos entre 50 y 250 kg/ha, y algunos partidos en el SE el aumento registrado se ubicó entre los 250 y 500 kg/ha, producto del aumento de la superficie dedicada al doble cultivo, además del aumento en los rendimientos.

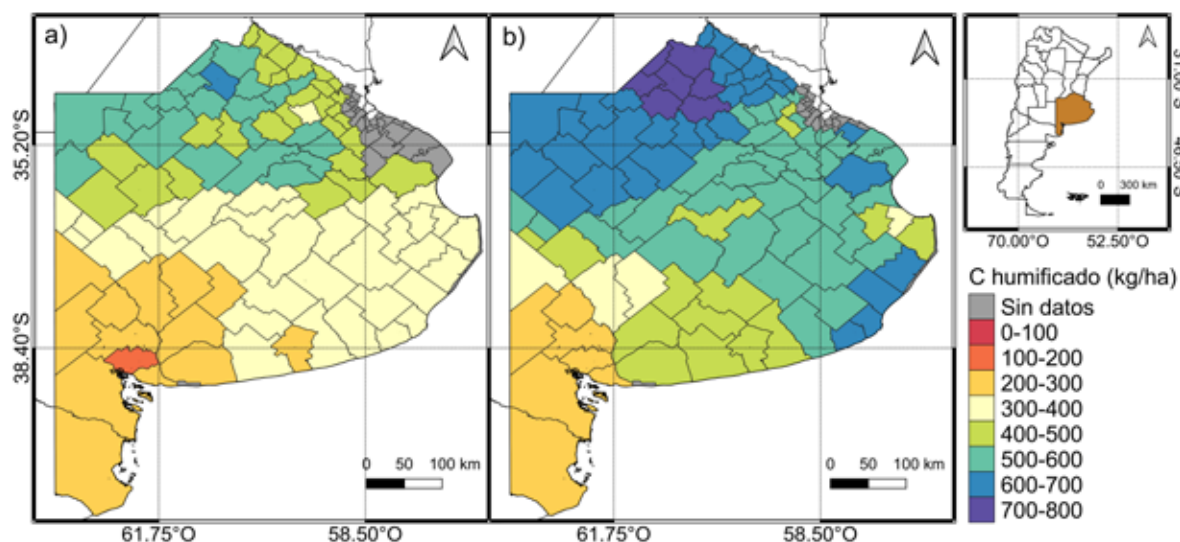


Figura 4. Distribución espacial del Carbono Humificado (kg/ha) en la provincia de Buenos Aires promedio anual para el período 2000-2003 (a) y 2018-2021 (b)

## CONCLUSIONES

En período 2, promedio de las campañas 2018 a 2021, el doble cultivo trigo/soja 2da fue el que mayor aporte de C produjo (5194 kg C/ha), le siguió el maíz (4989 kg C/ha), el trigo (3212 kg C/ha) y finalmente la soja 1era (2963 kg C/ha).

El aumento en la superficie dedicada a los cultivos de maíz y al doble cultivo trigo/soja 2da producida en las últimas décadas, acompañado por el aumento en los rendimientos, cambió la tendencia del aporte de C al suelo, generando un aumento en el orden del 49%.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agosti M.B; A. Irizar; L. Milesi y A. Andriulo. 2020. Informe Final Chacra Pergamino (2011-2020). [https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/6/2020/08/Informe-Final\\_Chacra-Pergamino.pdf](https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/6/2020/08/Informe-Final_Chacra-Pergamino.pdf)
- Alvarez R. (2006) Balance de Carbono en los suelos. Información técnica de trigo Campaña 2006. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 105.
- Bolinder M.A., H.H. Janzen , E.G. Gregorich , D.A. Angers , A.J. VandenBygaart. (2007) An approach for estimating net primary productivity and annual carbón inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118 (2007) 29–42
- Bolsa de Cereales. 2022. <https://www.bolsadecereales.com/tecnologia-informes>. Acceso Setiembre 2022.
- Martínez, J.P., Crespo, C., Sainz Rozas, H.R., Echeverría, H.E., Studdert, G.A., Martínez, F., Cordone, G. & PA Barbieri, P.A. (2019). Soil



organic carbon in cropping sequences with predominance of soya bean in the argentinean humid Pampas. *Soil Use and Management*. 36-1:173-183. <https://doi.org/10.1111/sum.12547>

Richmond P. F.y S. N. Rillo. 2009. Caracterización de la dinámica de incorporación de residuos de cosecha al suelo en un sistema agrícola en siembra directa en el centro-oeste de Buenos Aires. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica (LACS)*.(IPNI). Número 43, pag 22-26

Studdert, G., & Echeverría, H. (2000) Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.<https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6441496>.

