

MI PRIMER ARTÍCULO

CAROLINA ALVAREZ
caroalvar@hotmail.com

Stock de carbono en el suelo y emisiones anuales de óxido nítrico en la región semiárida pampeana argentina

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica (MO) es un componente asociado a la productividad de los agroecosistemas. El cultivo de las tierras causa, normalmente, una disminución de su contenido en el suelo, muchas veces debido a la disminución en el aporte de residuos y a la aceleración de la mineralización de materia orgánica del suelo a causa de las labores.

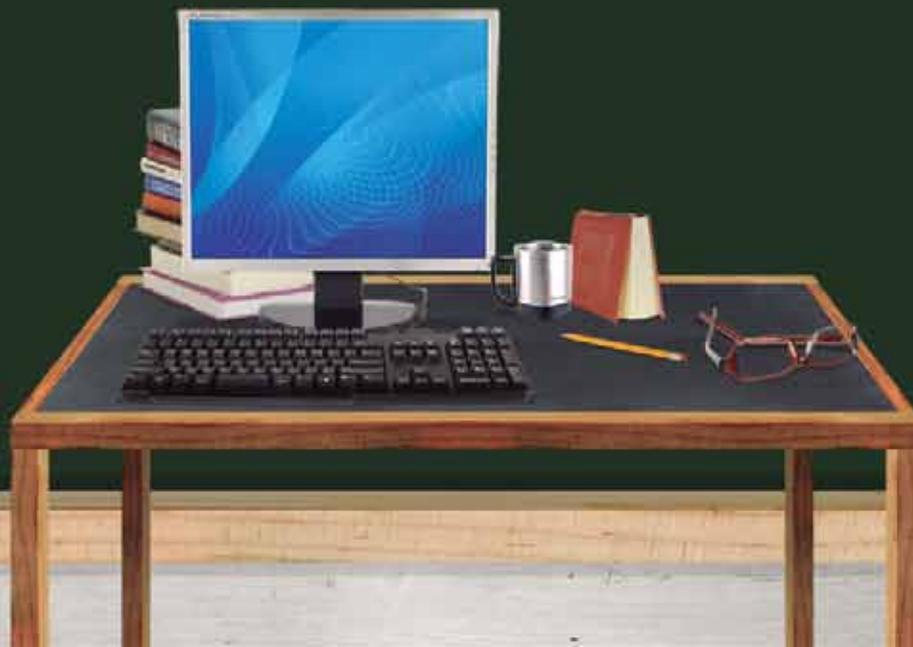
La MO es una importante fuente de nutrientes para las plantas y su disminución está directamente asociada con el aumento de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico, uno de los principales gases de efecto invernadero (GEI) del planeta. Varias investigaciones han destacado la importancia ambiental del secuestro de C en el suelo y su impacto sobre el cambio climático al mitigar la emisión de este elemento, especialmente en forma de CO_2 . El suelo tiene un importante papel en la producción de CO_2 y otros gases de efecto invernadero.

Las emisiones de GEI desde el sector agrícola cobraron importancia en los últimos años debido a la problemática del cambio climático. Las pérdidas de algunas formas gaseosas de carbono y nitrógeno del suelo contribuyen a incrementar las concentraciones de dichos gases en la atmósfera. Ciertos manejos agrícolas pueden promover la acumulación de carbono en el suelo, pero también

podrían generar condiciones edáficas y ambientales que predisponen la emisión de óxido nítrico (N_2O). Este gas posee un poder de calentamiento global 310 veces mayor que el dióxido de carbono.

La siembra directa fue propuesta como una alternativa al sistema de labranza convencional para reducir la degradación de los suelos, y podría también reducir las emisiones de GEI. Otros autores mencionan que la adopción de la siembra directa como única práctica de manejo no mejora los contenidos de carbono orgánico total (COT) del suelo. Para aumentar los contenidos COT del suelo deberían incluirse gramíneas en la rotación, ya que su eliminación en la secuencia de cultivo es otro factor que ha influido en forma negativa sobre el contenido de C en los suelos. Los cultivos de cobertura (cc) en los sistemas agrícolas actuales pueden constituir una importante herramienta agronómica, que mejora la eficiencia de uso del agua y del nitrógeno, y los transforma en biomasa vegetal, evitando pérdidas de agua del perfil y lixiviación de nitratos que de no ser implantados no serían aprovechables.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes secuencias de cultivo y sistemas de labranza sobre el stock de carbono del suelo y las emisiones anuales de óxido nítrico. Se pretende determinar cuáles de los manejos estudiados contribuyen a un mayor secuestro de carbono y menores emisiones de óxido nítrico desde el suelo.



MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en un ensayo de larga duración localizado en la Estación Experimental Agropecuaria de INTA Manfredi, Córdoba, Argentina (31,5° S, 63,5° O, 292 m.s.n.m.), dentro de la región semiárida pampeana. La región central de la provincia de Córdoba posee un régimen de precipitaciones que se concentra en primavera-verano (80 % octubre a marzo) con promedio medio anual de 750 mm. La temperatura media anual de la región es de 16,6°C, el clima de esta región se clasifica como subhúmedo seco.

El ensayo de larga duración fue iniciado en el año 1995. El suelo es un Haplustol éntico serie Oncativo, profundo, bien drenado, desarrollado sobre materiales franco limosos, con una capacidad de almacenaje de agua disponible de 307 mm hasta los 200 cm de profundidad (INTA, 1987). El diseño del experimento es un arreglo bifactorial. Un factor es el sistema de labranza, cuyos niveles son: siembra directa con barbecho químico (SDB), siembra directa con cultivo de cobertura, triticale (SDcc) y labranza reducida (LR), con rastra de discos como labor primaria (LR). El factor secuencia de cultivo tiene los niveles: soja-soja (sj-sj) y soja-maíz (sj-mz). A través de la combinación de los distintos niveles de cada uno de los factores quedan conformados 6 tratamientos: sj-sj LR, sj-mz LR, sj-sj SDB, sj-mz SDB, sj-sj SDcc y sj-mz SDcc.

Para determinar el COT se obtuvieron muestras a los 15 años del inicio del ensayo en las profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-70, 70-100 cm. Se realizaron con auto analizador de combustión completa. La densidad aparente se determinó a través del método de cilindro. Para comparar los stocks de COT (Mg ha⁻¹) del perfil del suelo corrigieron a masa equivalente hasta la profundidad que se evaluó.

Las emisiones de N₂O fueron medidas a campo durante un año en algunos de los tratamientos mencionados anteriormente. El procedimiento simplificado de extracción de las muestras del gas se realizó con cámaras estáticas a campo. Además, se monitoreó el contenido de nitrógeno como nitratos (N-NO₃⁻) y la humedad gravimétrica en el suelo hasta los 5 cm de profundidad en cada fecha en las que se determinaron las emisiones de N₂O. De acuerdo con las directrices del IPCC (2006) se calculó el inventario de emisiones de N₂O con el fin de compararlas con las medidas a campo.

Se realizaron los correspondientes análisis estadísticos para el análisis de la información generada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Stock de carbono orgánico total

Los stocks de COT a masa constante, se calcularon a través de la ecuación descrita por Sisti et al. (2004) utilizando las concentraciones de C de cada capa y calculando la masa de suelo por estrato utilizando los valores de densidad aparente. A los fines de este estudio se calcularon los stocks a las profundidades 0-30, 0-50 y 0-100 cm que se muestran en las Figuras 1 y 2.

Considerando el stock de COT hasta los 30 cm de profundidad (Figura 1) se observa que los tratamientos de la rotación sj-mz en combinación con siembra directa (sj-mz SDcc y sj-mz SDB) tienen la mayor cantidad de COT, mientras que los tratamientos bajo LR (sj-sj y sj-mz) presentan los menores valores. Se observó una tendencia de los tratamientos bajo siembra directa a presentar mayores stocks de COT respecto de los tratamientos bajo LR. Cuando se analizó el stock COT hasta los 50 cm, los sistemas de labranza se diferenciaron entre sí, siendo SDcc>SDB>LR (Figura 2a); las secuencias de cultivo también se diferenciaron observando que sj-mz>sj-sj (Figura 2b). Al analiza la totalidad del perfil estudiado (100 cm), la rotación sj-mz (Figura 2b) presentó un stock de COT significativamente mayor que en sj-sj y respecto a los sistemas de labranza, LR presentó un menor stock de COT que los tratamientos bajo siembra directa (Figura 2a), hayan sido estos con barbecho invernal o con cultivo de cobertura en esa misma estación

Figura 1. Stock de carbono orgánico total (Mg/ha), hasta 30 cm de profundidad corregido por unidad de masa.

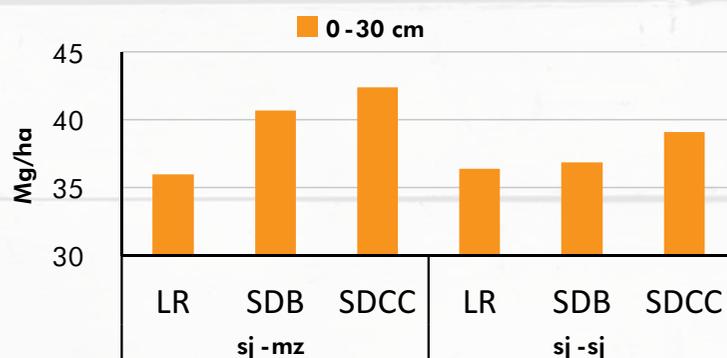
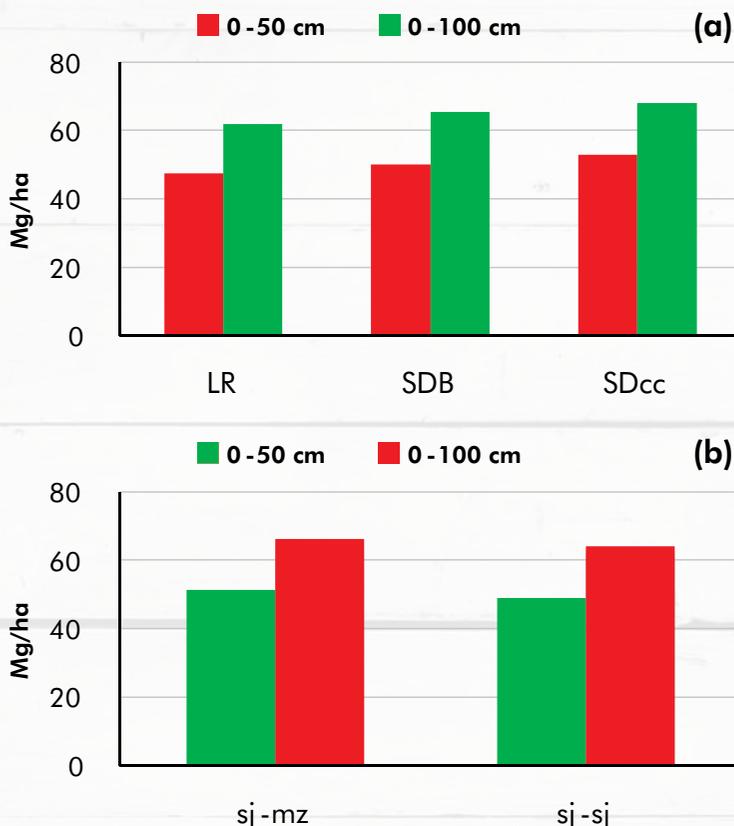


Figura 2. Stocks de carbono orgánico total (Mg/ha), hasta 50 y 100 cm de profundidad corregido por unidad de masa (a) sistemas de labranza; (b) rotaciones de cultivo.



Al analizar los stocks de COT hasta los 50 cm se observan diferencias entre los sistemas de labranza, presentando SDB 2,58 Mg C ha⁻¹ y SDcc 5,45 Mg C ha⁻¹ más que LR, respectivamente. Sin embargo, al considerar hasta 100 cm sólo se diferencia LR de los sistemas en SD, dicha diferencia es de 4,96 Mg C ha⁻¹. El menor stock de COT en LR respecto de las parcelas trabajadas bajo siembra directa pueden atribuirse a que las prácticas de labranza favorecen la mineralización de la materia orgánica por mayor temperatura y menor protección física, provocando liberación de nutrientes y pérdidas de C como CO₂ (Abril et al., 2005). Por otra parte, para que se produzca acumulación de materia orgánica es necesario además de un aumento de los aportes de residuos carbonados por los cultivos un ingreso extra de N (Sisti et al., 2004). Por debajo de los 30 cm se mantienen las diferencias en los stocks de COT debidas a los sistemas de manejo, lo que resulta concordante con lo encontrado por varios investigadores (Sisti et al., 2004). Es probablemente por esta razón que algunos autores consideran que no es necesario realizar muestreos a tanta profundidad para encontrar diferencias entre manejos, y que la determinación de stock de COT hasta los 15 cm o 30 cm pueden ser suficientes para detectar diferencias entre manejos. Desde el punto de vista de un balance entre el secuestro de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero es importante considerar mayores profundidades.

En relación a las secuencias de cultivo, tanto hasta 50 como hasta 100 cm el stock de COT fue mayor en sj-mz que en sj-sj. La rotación sj-mz acumuló en promedio para ambas profundidades 2,33 Mg C ha⁻¹ más que sj-sj. Esto puede deberse a los mayores aportes de residuos que se realizan por la participación del cultivo de maíz en la secuencia. Comparando el impacto sobre el stock de COT del sistema que presentan las labranzas usadas y la rotación, se observó un mayor impacto por parte de las primeras. La SD hasta 100 cm acumuló 330,7 kg C ha⁻¹ año⁻¹ más respecto que LR, mientras que sj-mz sólo acumuló 147,3 kg C ha⁻¹ año⁻¹.

Al calcular la tasa de acumulación de COT de la SD respecto de LR hasta 0-30 cm observamos que fue de 239 kg C ha⁻¹ año⁻¹. Si la comparamos con la tasa estimada por Alvarez & Steinbach (2006) para la Pampa Ondulada argentina que fue de 460 kg C ha⁻¹ año⁻¹ para SD respecto de LR, entre los 4 y 9 años luego de incorporada la SD. En nuestro trabajo, la tasa de acumulación fue menor y puede atribuirse a que el ensayo tiene más años (15 años) y las tasas disminuyen con el tiempo.

Emisiones anuales de óxido nitroso medidas y estimadas en base a IPCC

La emisión anual de N₂O fue calculada mediante la interpolación lineal entre fechas sucesivas acuerdo a Jantalia et al. (2008). Las emisiones medidas de N₂O mostraron valores que variaron entre 1,09 y 2,41 kg N-N₂O ha⁻¹ año⁻¹ (Tabla 1). En general las emisiones anuales bajo LR fueron mayores que en SD y en la secuencia sj-mz (A) (maíz en el período de cultivo) mayores a las demás. En esta secuencia se puede observar el efecto que tuvo la fertilización del cultivo de maíz, único fertilizado con nitrógeno, durante el período del cultivo. El tratamiento con mayor emisión anual fue LR sj-mz (A) (maíz en el período de cultivo) y el valor de menor emisión anual de N-N₂O fue el tratamiento SD mz-sj (B) (soja en el período de cultivo). Las emisiones anuales de este tratamiento fueron similares a las emisiones anuales del testigo.

Las emisiones estimadas según IPCC (2006) con los rendimien-

Figura 3. Emisiones anuales de N-N₂O medidas y estimadas a través de IPCC (2006). Valores de la rotación soja-maíz (sj-mz) y soja-soja (sj-sj) en siembra directa (SD) y labranza reducida (LR).

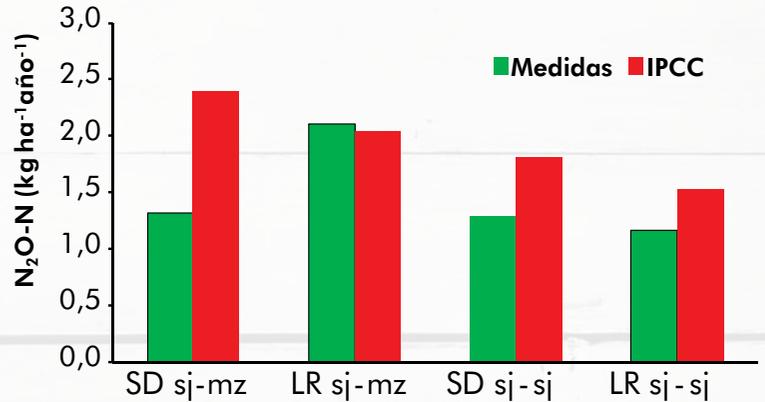


Tabla 1. Estimación de pérdida de N como N₂O (kg N-N₂O ha⁻¹) de dos sistemas de labranza: SDB y LR, dos secuencias de cultivo: sj-mz y sj-sj, y el testigo desde marzo 2009 a marzo 2010.

Secuencia	Sistema de labranza		Media
	SDB	LR	
		(kg N-N ₂ O ha ⁻¹ año ⁻¹)	
sj-mz (A)	1,55	2,41	1,98
sj-mz (B)	1,09	1,80	1,45
sj-sj	1,29	1,16	1,23
Media	1,31	1,79	
Testigo	1,10		

tos del ensayo y las emisiones medidas, ya expresadas en la Tabla 1, se presentan en la Figura 3. Dicha Figura muestra que las pérdidas anuales de N-N₂O medidas fueron en términos generales inferiores a las estimadas con la metodología de IPCC para las situaciones evaluadas.

La siembra directa se sugiere a menudo como una práctica para reducir las emisiones netas de GEI. En este estudio se observó que está condicionada por la rotación, siendo 0,78 kg N-N₂O ha⁻¹ año⁻¹ menor respecto a la LR con la secuencia sj-mz y 0,13 kg N-N₂O ha⁻¹ año⁻¹ mayor que LR cuando se llevó a cabo monocultivo de soja.

Teniendo en cuenta el potencial de calentamiento global del N₂O, las menores pérdidas de óxido nitroso observadas en SD respecto LR en la rotación sj-mz, representan 104 kg C ha⁻¹ año⁻¹. Si la comparamos con la tasa de secuestro de COT, mencionada anteriormente, en SD respecto de LR (239 kg C ha⁻¹ año⁻¹), la emisión anual de óxido nitroso, medida en equivalentes de CO₂ es ampliamente compensada por la tasa de secuestro de carbono.

CONCLUSIONES

La siembra directa promueve la acumulación de COT, sobre todo cuando se incluyen gramíneas en la rotación. En general emisiones medidas fueron menores a las calculadas por la metodología IPCC, recomendamos la realización de un mayor número de evaluaciones, ya que de mantenerse esta tendencia se esta-

ría incurriendo en una importante sobrestimación utilizando la metodología del IPCC (2006).

AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Manejo de Cultivos y Recursos Naturales de INTA EEA Manfredi.

BIBLIOGRAFÍA

Abril, A; P Salas; E Lovera; S Kopp; N Casado-Murillo. 2005. Efecto acumulativo de la siembra directa sobre algunas características del suelo en la región semiárida central de la Argentina. *Ciencia del Suelo (Argentina)*. 23 (2):179-188.

Alvarez, R & H Steinbach. 2006. Efecto del sistema de labranza sobre la materia orgánica. En: *Materia Orgánica, valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*. Alvarez R. (ed). Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. 69-78.

INTA. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de la Nación. 1987. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja

3163-32-Oncativo.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Volumen 4.*

Jantalia, CP; HP dos Santos; S Urquiaga; RM Boddey; BJR Alves. 2008. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 82 (2): 161-173.

Salas, HP; E Lovera; M Basanta; JP Giubergia; E Martellotto; A Salinas. 2005. Producción de Soja y Maíz en función de la rotación del sistema de manejo en un Haplustol típico de la región central de Córdoba. Disponibilidad de agua y rendimiento. INTA EEA Manfredi. 11 p.

Sisti, CPJ; HP dos Santos; R Kohhann; BJR Alves; S Urquiaga; RM Boddey. 2004. Changes in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil Till. Res.* 76: 39-58.

