

EFFECTO DE LA SECUENCIA DE CULTIVOS SOBRE LAS FRACCIONES DE MATERIA ORGÁNICA Y NITRÓGENO BAJO SIEMBRA DIRECTA EN LA REGIÓN PAMPEANA SEMIÁRIDA SUR

ERICA SUSANA SCHMIDT*¹ & NILDA MABEL AMIOTTI¹⁻²

Recibido: 27-10-16

Recibido con revisiones: 07-11-16

Aceptado: 22-12-16

RESUMEN

Para que la siembra directa (SD) exprese al máximo sus beneficios es necesario contar con un adecuado nivel de cobertura de suelo, lo cuál se logra a través de una adecuada planificación de las rotaciones. Estos estudios cobran particular importancia en regiones semiáridas, donde la elección de los cultivos se encuentra restringida. Se propuso como objetivo determinar el efecto de la implementación de distintas secuencias de cultivos bajo SD continua por 15 años sobre el contenido y calidad de la materia orgánica (MO) y su posterior incidencia en los stocks de nitrógeno (N) en suelos de la región pampeana semiárida sur. Las unidades experimentales constituyeron 13 lotes en producción agrícola con diferentes rotaciones: i) secuencias de cultivos invernales (Inv./Inv.), ii) secuencias de cultivos invernales con barbecho prolongado por un año (Inv./Bar.) y iii) secuencias de cultivos invernales y estivales (Inv./Est.). Se determinó el porcentaje de cobertura de rastrojos y se realizó el muestreo del horizonte superficial (0-5 cm y 5-20 cm). Las determinaciones efectuadas incluyeron: pH, carbono orgánico total (COT), carbono orgánico particulado (COP), nitrógeno total (NT) y nitrógeno particulado (NP). Los resultados obtenidos mostraron que en los lotes con secuencias Inv./Est., los porcentajes de cobertura fueron menores al 30%, condición que afectó negativamente la dinámica de la MO y el N del suelo. Por otra parte, una mayor presencia de gramíneas invernales en las secuencias derivó en una cobertura de rastrojos más elevada y a mayores stocks de COT, COP, NT y NP en el horizonte superficial de los suelos. Este planteo debería considerarse para el área de estudio al analizar la sustentabilidad del sistema, la que estaría en riesgo cuando se introducen en la secuencia especies estivales de bajos aportes de residuos.

Palabras clave. Región semiárida pampeana, cultivos invernales y estivales, fraccionamiento granulométrico.

EFFECT OF CROP SEQUENCE UNDER NO TILLAGE ON ORGANIC MATTER AND NITROGEN FRACTIONS IN THE SOUTHERN SEMIARID PAMPEAN REGION

ABSTRACT

It is necessary to have an adequate level of residue in soil surface in order to express the benefits of no-tillage system (SD), which is achieved through proper planning of rotations. These studies are particularly important in semiarid regions, where the crop options are limited. The aim of this study was to analyze the effect of different crop sequences under SD on the content and quality of organic matter (OM) and its subsequent impact on nitrogen (N) stocks in soils of the southern semiarid pampean region. The experimental units were 13 plots under agricultural production, with different crop sequences: i) winter crops (Inv./Inv.), winter crops with prolonged fallow (Inv./Bar.) and winter and summer crops (Inv./Est.). Soil cover (%) was determined and sampling of topsoil (0-5 cm and 5-20 cm) was performed. The following soil variables were determined: pH, total organic carbon (YOC), particulate organic carbon (POC), total nitrogen (TN) and particulate nitrogen (PN). Soil cover was lower than 30% in Inv./Est. a condition that negatively affected the dynamics of OM and N. On the other hand, a higher amount of winter grain crops in the sequences resulted in a more elevated soil coverage together with higher stocks of TOC, POC, TN and PN. Monoculture of winter crops under SD should be considered in the analysis of the system sustainability for the study area, which in accord with our results, is at risk by introducing summer grain crops with low residues contributions in the management of crop sequence.

Key words. Semiarid pampean region, winter and summer crops, soil size fractionation.

1. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur (UNS), San Andrés 800, Bahía Blanca 8000, Buenos Aires, Argentina.

* Autor de contacto: eschmidt@criba.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La SD constituye un sistema de labranza conservacionista donde no se realizan disturbios importantes al suelo excepto el movimiento que efectúan los abresurcos de la sembradora al abrir una estrecha franja donde se localizarán las semillas, y la presencia de residuos desde la cosecha del cultivo al momento de siembra del siguiente, supera el 30% de cobertura (Karayel, 2009). En la actualidad la mayor parte de la producción agrícola extensiva en nuestro país se realiza bajo este sistema, el que surgió como una alternativa promisorio para la conservación de los recursos naturales y el mejoramiento de la producción agropecuaria, alcanzando en el mundo las 150 millones de ha. En la Argentina, esta tecnología también se expande, reemplazando a otros sistemas de laboreo conservacionistas y convencionales, comprendiendo 29 millones de ha en el año 2013 (Kassam *et al.*, 2015).

Inicialmente adoptada en la pampa húmeda, la SD se expandió hacia la zona subhúmeda y semiárida, donde los agrosistemas se emplazan en regiones ecológicas más frágiles y de resiliencia baja. Su difusión se vincula inicialmente a la optimización del uso del agua en una zona donde el recurso es escaso (Noellemeyer *et al.*, 2013); al control de los procesos erosivos (Hevia *et al.*, 2007); a la conservación y/o incremento de la MO y a la racionalización del uso de la maquinaria agrícola (Lal *et al.*, 2007). Esencialmente se la recomienda por el mantenimiento de cobertura vegetal sobre el suelo y la no remoción de la capa superficial, lo que contribuiría a la conservación y mejoramiento de la calidad de los suelos (Buschiazzi *et al.*, 1998; Reicosky, 2008).

La alternancia temporal de diferentes cultivos en el mismo espacio, es un recurso comprobado para mantener la diversificación del agrosistema (Quiroga *et al.*, 2015). Sus beneficios están asociados a la acción de las diferentes especies sobre la disponibilidad de agua y nutrientes, la dinámica de las plagas y patógenos, la presencia de sustancias inhibitorias o promotoras del crecimiento y sobre la condición física, química y biológica del suelo (Ruffo & Parsons, 2004). En SD, a las ventajas descritas anteriormente, deben agregarse un mayor nivel de cobertura y presencia de diferentes tipos de rastrojos con lo que se logra incrementos de MO y un mejor control de la erosión (Forján & Manso, 2006).

Los estudios basados en el fraccionamiento granulométrico de la MO permitieron avanzar en el conocimiento de su dinámica, su relación con el manejo agronómico

y su importancia en la nutrición de los cultivos (Galantini, 2005a). Especialmente, la fracción particulada de la MO o del carbono orgánico (COP) compuesta por partículas de mayor tamaño que el humus, y libre de la matriz mineral, resulta clave para interpretar cambios en la calidad del suelo y su productividad. El incremento de esta fracción es altamente dependiente del aporte anual de residuos de cultivos, y se ve afectada por el sistema de labranza (Quiroga & Funaro, 2004). Además, resulta de interés el estudio del N asociado a la fracción gruesa del suelo, ya que sus contenidos están asociados con la capacidad potencial de la MO para aportar este nutriente a los cultivos (Koutika *et al.*, 2008).

Si bien algunos estudios concluyeron que la reducción de las labranzas tendría un mayor impacto en los stocks de COT en el suelo que el acrecentamiento en la complejidad de la rotación (West & Post, 2002; Álvarez *et al.*, 2014), la influencia de las distintas secuencias agrícolas sobre los contenidos de COT y la dinámica del N es una de las más antiguas y universalmente reconocidas (Novelli *et al.*, 2011). Esto cobra particular importancia en sistemas bajo SD, donde las pérdidas por descomposición son bajas y los ingresos de C adquieren mayor relevancia (Bono *et al.*, 2008).

Es indudable que la cantidad y calidad de los aportes de los residuos orgánicos afectan el stock de COT, y en los sistemas agrícolas su nivel de equilibrio puede ser relacionado linealmente con la cantidad de residuos aplicados al suelo. De esta manera, la reducción de los períodos de barbecho y la incorporación de gramíneas como el trigo, maíz o sorgo en las rotaciones permitiría un mayor enriquecimiento de COT, COP y posiblemente una más elevada capacidad de suministrar N en los suelos asociado a sus sistemas radiculares extendidos y a la mayor producción de biomasa de residuos a través del año de estas especies (Studdert *et al.*, 2000; Duval *et al.*, 2015). Al respecto, estudios realizados en Dakota del Norte (USA) por Krupinsky *et al.* (2007) señalan que el trigo produce altos niveles de cobertura (en general más de 90%) mientras que el girasol produce niveles del orden del 45% y 70%. A largo plazo, con la utilización de la gramínea en las rotaciones, existirían mayores oportunidades para ingresar C al suelo vía fotosíntesis y de lograr mayores reservas de MO (Franzluebbers, 2004), condición que mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas edáficas.

El monocultivo de especies invernales bajo SD se está difundiendo en el SO bonaerense. Sin embargo, su implementación podría resultar controversial por su posible

impacto ambiental y económico negativo, ya que aumenta el nivel de insumos en una zona marginal de alto riesgo (Kruger *et al.*, 2014). Por otra parte, estos autores señalan que bajo estas secuencias se lograría una mejor gestión del agua, manteniendo además una alta cobertura superficial de rastrojos contribuyendo a la sustentabilidad del sistema (García Préchac, 2004).

Para que la SD exprese al máximo sus beneficios es necesario contar con un adecuado nivel de cobertura del suelo, lo cual se logra a través de una adecuada planificación de las rotaciones bajo SD (Revelli *et al.*, 2010). Estos estudios cobran particular importancia en regiones subhúmedas o semiáridas, donde la elección de los cultivos se encuentra restringida por las condiciones climáticas y económicas. En este contexto, se propuso como objetivo determinar el efecto de la implementación de distintas secuencias de cultivos bajo SD continua y prolongada sobre el contenido y calidad de la MO y su posterior incidencia en los stocks de N en suelos de la región pampeana semiárida sur.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área de estudio y tratamientos

La presente investigación se desarrolló evaluando sistemas reales de modo tal que las tareas se llevaron a cabo en esta-

blecimientos agrícolas representativos del SO bonaerense ubicados entre los 38°54' S, 61°38' O y los 38°34' S, 61°42' O, a aproximadamente 50 km al NNE y E de la ciudad de Bahía Blanca. El clima es subhúmedo seco, mesotermal, con una precipitación media anual para las estaciones meteorológicas más cercanas al área de trabajo de 580 mm (Bahía Blanca, serie histórica 1900-2009) y 604 mm (Cabildo, serie histórica 1904-2009) (Scian, 2010). Los suelos estudiados clasifican como Paleustoles petrocálcicos (Soil Survey Staff- USDA, 2010) con secuencia de horizontes del tipo A-AC-C-Ck-2Ckm. Los cultivos más importantes en cuanto al área sembrada son los de ciclo invierno-primaveral mientras que las especies estivales resultan de menor importancia en cuanto a su grado de adopción. Se consideró un total de 13 lotes en producción agrícola pura bajo SD continua por un lapso de 15 años. Al seleccionar los sitios de muestreo se trató de mantener, tanto como fue posible, uniformidad en los factores de pedogénesis a fin de convalidar las comparaciones y poder atribuir las diferencias encontradas a cuestiones relacionadas meramente con las prácticas de manejo adoptadas. Se consideraron distintas rotaciones normalmente utilizadas en la zona: i) cultivos invernales (Inv./Inv.: 4 lotes), ii) cultivos invernales con barbecho prolongado por un año (Inv./Bar.: 4 lotes), y iii) cultivos invernales y estivales (Inv./Est.: 5 lotes), las que constituyeron las tres secuencias de cultivo a evaluar (Tabla 1). En el caso de los cultivos de invierno (generalmente trigo o cebada), la siembra comienza alrededor del mes de mayo con una fertilización que incluye 60-80

Tabla 1. Valores medios de arena, limo y arcilla, clase textural y número de cultivos para las distintas secuencias de cultivo evaluadas. Table 1. Mean values of clay, silt, and sand content (g kg^{-1}), resulting textural class of the A horizon and number of crops under the evaluated crop sequences.

Secuencias de cultivo	Lote	Arena (g kg^{-1})	Limo (g kg^{-1})	Arcilla (g kg^{-1})	Clase textural	Número de cultivos bajo SD en el período 1994-2009	
						Cultivos invernales	Cultivos estivales
Inv./Inv.	1	651	171	178	Franco arenosa	14 trigo 1 cebada	—
	2	785	117	98	Franco arenosa	15 trigo	—
	3	598	226	176	Franco arenosa	13 trigo 2 cebada	—
	4	633	183	184	Franco arenosa	15 trigo	—
Inv./Bar.	5	575	241	184	Franco arenosa	8 trigo	—
	6	595	232	173	Franco arenosa	8 trigo	—
	7	591	236	173	Franco arenosa	7 trigo 1 cebada	—
	8	615	203	182	Franco arenosa	8 trigo	—
Inv./Est.	9	676	168	156	Franco arenosa	8 trigo	7 girasol
	10	633	196	171	Franco arenosa	7 trigo 1 cebada	7 girasol
	11	630	200	170	Franco arenosa	6 trigo 2 cebada	7 girasol
	12	607	208	185	Franco arenosa	8 trigo	7 girasol
	13	580	244	175	Franco arenosa	7 trigo 2 cebada	6 girasol

kg ha⁻¹ de fosfato diamónico (18-20-0). En general se agrega urea (46-0-0) al macollaje, regulando la dosis en función de las condiciones climáticas y la disponibilidad de N y agua en el suelo. Los rendimientos oscilan entre 1500 y 3000 kg ha⁻¹. En el caso de la especie estival (girasol) la siembra es en octubre-noviembre. El rendimiento promedio es bajo y variable (100-1000 kg ha⁻¹).

Muestreo y determinaciones analíticas

En cada uno de los lotes se tomaron muestras al azar, disturbadas (compuestas por 25 submuestras) y no disturbadas, a comienzos del otoño del año 2009 en la zona central de los mismos, evitando los bordes y las áreas de mayor tránsito (cabeceras). Se realizó el muestreo del horizonte superficial (0-5 cm y 5-20 cm). Todas las variables se presentan también para la capa 0-20 cm a través del cálculo del promedio ponderado o la suma, de las dos profundidades muestreadas, según correspondiera. Se evaluó el porcentaje de cobertura de rastros por el método de la línea transecta (Morrison *et al.*, 1993), repitiendo el procedimiento cinco veces en cada lote. Las determinaciones efectuadas en los horizontes superficiales de los suelos incluyeron: pH en suspensión suelo-agua relación 1:2,5 (potenciométrico), carbono orgánico total (COT, g kg⁻¹) por el método de Walkey & Black (Nelson & Sommers, 1996) y N total (NT, g kg⁻¹) por el método micro-Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1996). Se realizó además el fraccionamiento granulométrico por tamizado en húmedo con tamiz de 0,1 mm (Galantini, 2005b) a fin de cuantificar los contenidos de carbono orgánico particulado (COP, Mg ha⁻¹) y N total particulado (NP, Mg ha⁻¹) en la fracción gruesa (0,1-2 mm). Por diferencia, se determinaron los valores de carbono orgánico y N recalcitrantes, asociados a la fracción fina (COR y NR, respectivamente). Los contenidos de COT, NT y sus fracciones fueron transformados a valores de stock mediante el producto entre la concentración correspondiente, el espesor del suelo considerado y las densidades aparentes. Esta propiedad presentó valores de 1,27 y 1,47 en Inv./Inv.; 1,34 y 1,48 en Inv./Est., y 1,38 y 1,42 en Inv./Bar. para las profundidades de 0-5 cm y 5-20 cm, respectivamente.

Análisis estadístico

El presente trabajo es un estudio observacional de modo que cada lote perteneciente a cada una de las rotaciones comparadas (Inv./Inv, Inv./Est. e Inv./Bar.) constituyó una unidad experimental. El diseño fue completamente aleatorizado, con 4 o 5 repeticiones (lotes) por tratamiento (N: 13). Se utilizaron técnicas descriptivas (cálculo de valores medios y desvíos estándar). Las variables evaluadas fueron sometidas a un análisis de varianza (ANOVA simple), con comparaciones múltiples de medias a través de la prueba DMS protegida de Fisher ($p < 0,05$). Los datos fueron analizados mediante el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las observaciones de campo indicaron diferencias significativas en el porcentaje de cobertura entre tratamientos, con los niveles más elevados en Inv./Inv. e Inv./Bar. respecto a Inv./Est. (Fig. 1). En el caso de las secuencias de cultivos invernales y estivales, la SD no se comportó como una práctica de manejo conservacionista por el bajo nivel de cobertura promedio logrado (25%), presentando además, una mayor dispersión en sus valores (CV: 37%) respecto a Inv./Inv. (CV: 13%) e Inv./Bar. (CV: 15%). Resultados similares a los obtenidos en este trabajo fueron reportados por López *et al.* (2015) para el SO de Buenos Aires, quienes señalan una cobertura promedio del 36,6% bajo monocultivo de especies invernales. Dichos autores establecieron que al incorporar cultivos estivales en las rotaciones, los valores de cobertura medios fueron del 31,5%. Sin embargo, también encontraron que cuando se incorporaron cultivos de verano en las rotaciones, el 63% de los lotes poseían una cobertura del suelo menor a la establecida por la bibliografía como necesaria para considerarla agricultura de conservación.

En todos los lotes estudiados la reacción del suelo fue ligeramente ácida, con valores de pH que oscilaron entre 5,6 y 6,4. En el tratamiento Inv./Inv. se observó una mayor acidificación en la profundidad 0-5 cm ($p < 0,03$), con diferencias de 0,2 a 0,3 unidades respecto a Inv./Bar. e Inv./Est. respectivamente (Tabla 2). Este comportamiento podría asociarse a los mayores contenidos de COT en la secuencia de cultivos invernales sumado a la formación de ácidos orgánicos y nitrificación de amonio por la aplicación superficial de fertilizantes nitrogenados (Thomas *et al.*, 2007). Para todos los suelos estudiados se encontró una relación negativa significativa entre los contenidos de COT y el pH en la capa más superficial del suelo ($r: -0,70$; $p < 0,01$; N: 13). En las profundidades de 5-20 cm y 0-20 cm no se detectaron diferencias significativas de pH entre los tratamientos comparados.

Los contenidos medios de COT fueron significativamente más elevados en Inv./Inv. respecto a Inv./Est. en las tres profundidades evaluadas (Fig. 2), mientras que en el tratamiento Inv./Bar. se observaron stocks de COT intermedios. El girasol es normalmente incorporado en las secuencias bajo SD para cortar el ciclo de plagas y enfermedades. Sin embargo sus rendimientos en la región son por lo general bajos y presentan una alta variabilidad, lo que se asocia a las elevadas temperaturas y la escasez y erraticidad de las precipitaciones en el período estival (Schmidt

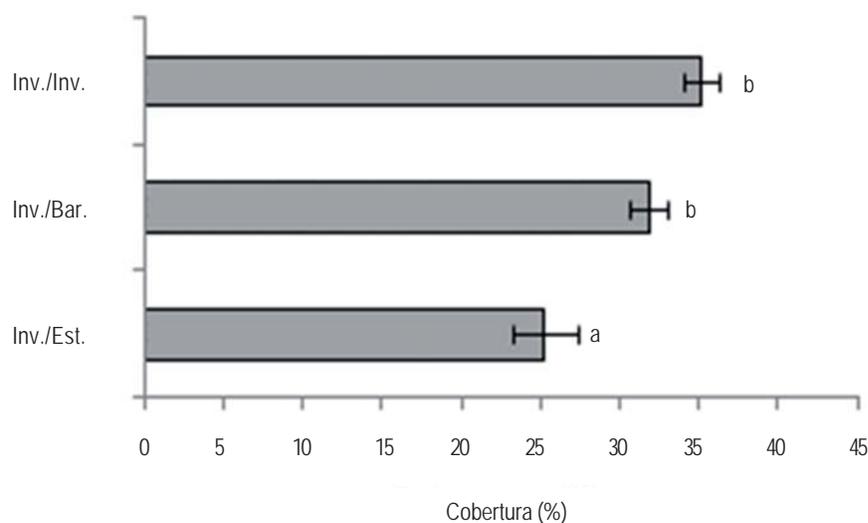


Figura 1. Porcentaje de cobertura del suelo para las distintas secuencias de cultivo evaluadas.

Figure 1. Soil cover under the evaluated crop sequences.

Letras distintas indican diferencias significativas entre secuencias de cultivo ($p < 0,05$). Las barras indican el valor del error estándar de las medias.
Different letters indicate significant differences between crop sequences ($p < 0.05$). Bars indicate the standard error of the means.

Tabla 2. Valores medios \pm error estándar de pH y relaciones carbono orgánico total/nitrógeno total (COT/NT), carbono orgánico particulado/nitrógeno particulado (COP/NP), carbono orgánico particulado/carbono orgánico total (COP/COT) y nitrógeno particulado/nitrógeno total (NP/NT) para las distintas secuencias de cultivo y profundidades evaluadas.

Table 2. Mean values \pm standard error of pH and total organic carbon/total nitrogen (COT/NT), particulate organic carbon/particulate nitrogen (COP/NP), particulate organic carbon/total organic carbon (COP/COT) and particulate nitrogen/total nitrogen (NP/NT) relationships under the evaluated crop sequences and depths.

	Profundidad	Inv./Inv.	Inv./Bar.	Inv./Est.
pH	0-5 cm	5,6 \pm 0,05 a	5,8 \pm 0,06 b	5,9 \pm 0,03 b
	5-20 cm	6,4 \pm 0,01 a	6,4 \pm 0,02 a	6,3 \pm 0,04 a
	0-20 cm	6,2 \pm 0,02 a	6,2 \pm 0,02 a	6,2 \pm 0,04 a
COT/NT	0-5 cm	14,9 \pm 0,6 a	13,1 \pm 0,9 a	14,1 \pm 0,4 a
	5-20 cm	12,8 \pm 0,6 a	12,5 \pm 0,7 a	12,2 \pm 0,6 a
	0-20 cm	13,5 \pm 0,5 a	12,7 \pm 0,8 a	12,8 \pm 0,4 a
COP/NP	0-5 cm	21,2 \pm 0,8 a	26,2 \pm 3,8 a	29,3 \pm 1,0 a
	5-20 cm	10,0 \pm 0,4 a	12,5 \pm 1,0 a	9,8 \pm 0,3 a
	0-20 cm	13,4 \pm 0,1 a	17,2 \pm 1,9 a	14,5 \pm 0,4 a
COP/COT	0-5 cm	29,8 \pm 0,5 a	31,7 \pm 2,3 a	30,0 \pm 1,5 a
	5-20 cm	20,3 \pm 1,4 a	16,1 \pm 1,1 a	16,7 \pm 0,8 a
	0-20 cm	24,0 \pm 1,0 a	21,7 \pm 1,4 a	21,2 \pm 1,0 a
NP/NT	0-5 cm	21,2 \pm 1,3 b	16,2 \pm 1,2 a	14,5 \pm 0,6 a
	5-20 cm	26,0 \pm 1,3 c	16,1 \pm 1,3 a	20,7 \pm 0,9 b
	0-20 cm	24,2 \pm 0,7 b	16,2 \pm 1,1 a	18,8 \pm 0,8 a

Letras distintas indican diferencias significativas entre secuencias de cultivo para cada profundidad ($p < 0,05$).

Mean values followed by different letters indicate significant differences between crop sequences for each depth ($p < 0.05$).

et al., 2013). De esta manera, y tal como cita la bibliografía (Studdert *et al.*, 2000; Franzluebbers, 2004), una mayor participación de las gramíneas en las secuencias de cultivo de la región mejora el balance de C de los suelos.

Las diferencias obtenidas para los contenidos de COT entre los tratamientos comparados fueron, en promedio, del 18% mientras que los stocks de COP mostraron variaciones de hasta el 33% al comparar las distintas secuencias de cultivo. Esto confirma que la proporción de la fracción más activa del COT resulta ser un indicador sensible cuando se evalúa el efecto del manejo sobre los suelos (Álvarez *et al.*, 2011).

En la secuencia Inv./Inv. se detectaron los mayores valores de COT asociado a la fracción > 0,1 mm en todas las profundidades evaluadas (Fig. 2). Considerando el horizonte superficial (0-20 cm), los valores de COP registrados en dicha secuencia ($10,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) resultaron entre un 26% y un 39% superiores a los obtenidos en Inv./Bar. ($8,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) e Inv./Est. ($7,6 \text{ Mg ha}^{-1}$), respectivamente. Galantini *et al.* (2007b) en trabajos que consideran secuencias de cultivos que incluyen al trigo y al girasol en la

región semiárida-subhúmeda, reportan valores de C unido a la fracción gruesa en los horizontes superficiales de los suelos más bajos a los obtenidos en esta investigación.

Las variaciones en la proporción del C orgánico más fácilmente mineralizable respecto del COT, permiten inferir acerca del enriquecimiento o pérdida de C en los suelos. Sin embargo, en este trabajo no se detectaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en las relaciones COP/COT entre las secuencias de cultivo evaluadas (Tabla 2). En promedio para todos los lotes, el COP representó el 23% del COT. Quiroga *et al.* (2005) en Haplustoles énticos de la región semiárida señalan relaciones COP/COT en sistemas sin disturbar del 50%. Por el uso agrícola prolongado este porcentaje se reduce sensiblemente, indicando una pérdida mayor de la fracción más lábil.

El COR del suelo no tuvo diferencias ($p > 0,05$) entre los tratamientos evaluados (Fig. 2). Estos resultados coinciden con lo reportado por algunos autores, quienes afirman que por su baja labilidad, los valores de COR no deberían ser muy diferentes entre suelos de texturas similares bajo distintas prácticas de manejo (Eiza *et al.*, 2005).

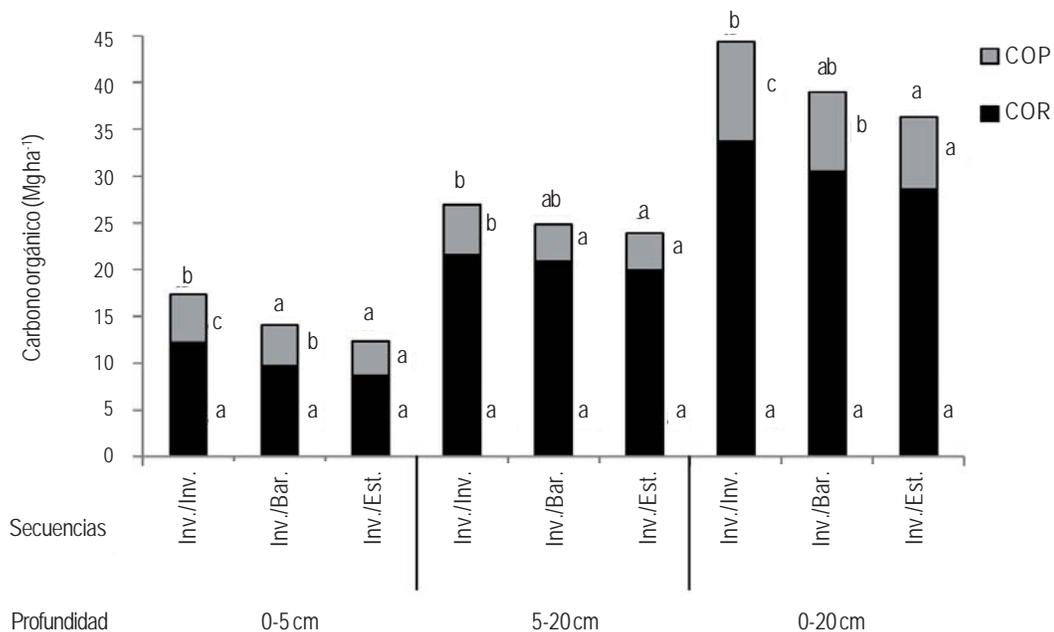


Figura 2. Contenidos de carbono orgánico particulado (COP), recalcitrante (COR) y total para las distintas secuencias de cultivo y profundidades evaluadas. Figure 2. Average particulate (COP), mineral-associated fraction (COR) and total organic carbon stocks under the evaluated crop sequences and depths. Letras distintas indican diferencias significativas entre secuencias de cultivo para cada profundidad ($p < 0,05$).

Mean values followed by different letters indicate significant differences between crop sequences for each depth ($p < 0,05$).

El NT es el nutriente que en mayor medida condiciona el crecimiento y rendimiento de los cultivos en los suelos de la región pampeana. A través de las rotaciones, es posible combinar especies que dejen diferentes cantidades de residuos de distinta calidad y con ello modificar la disponibilidad de este nutriente para el cultivo siguiente (Power & Doran, 1988). El análisis realizado evidenció que los mayores stocks de NT en las tres profundidades se observaron en Inv./Inv. e Inv./Bar. respecto a Inv./Est. aunque en la capa de 5-20 cm las diferencias entre las distintas secuencias no fueron estadísticamente significativas (Fig. 3).

De la misma forma que para el COT, es posible determinar el N del suelo asociado a las diferentes fracciones granulométricas. Los resultados obtenidos en el análisis del NP fueron similares a los descriptos para el COP, con los mayores contenidos en Inv./Inv. ($p < 0,05$) (Fig. 3). Considerando el stock para el horizonte superficial (0-20 cm), la secuencia de cultivos invernales acumuló aproximadamente 260 kg y 290 Kg más de NP por ha en relación a Inv./Est. e Inv./Bar., respectivamente.

También la secuencia Inv./Inv. presentó aumentos significativos en la relación NP/NT en todas las profundidades analizadas respecto a Inv./Est. e Inv./Bar. (Tabla 2). La calidad, cantidad y forma física de los residuos vegetales devueltos al suelo afectan la dinámica del N a través de su incidencia sobre los procesos de inmovilización y mineralización (Sánchez *et al.*, 1998). Tal como ya fuera explicitado, bajo las condiciones edafoclimáticas de la región las especies invernales brindan un volumen de rastrojo más elevado que el girasol, presentando además relaciones C/N más altas que los cultivos estivales. De esta manera, los residuos de las gramíneas se descomponen lentamente, lo que contribuiría a incrementar los contenidos de MO y nutrientes del suelo en el largo plazo (Andriulo & Cardone, 1998).

Los valores obtenidos para el NR, al igual que lo ocurrido para el COR, resultaron similares en los tres tratamientos comparados (Fig. 3). Los promedios registrados para la profundidad 0-20 cm muestran que en el área de estudio, aproximadamente el 80% del N del suelo está asociado a la fracción mineral.

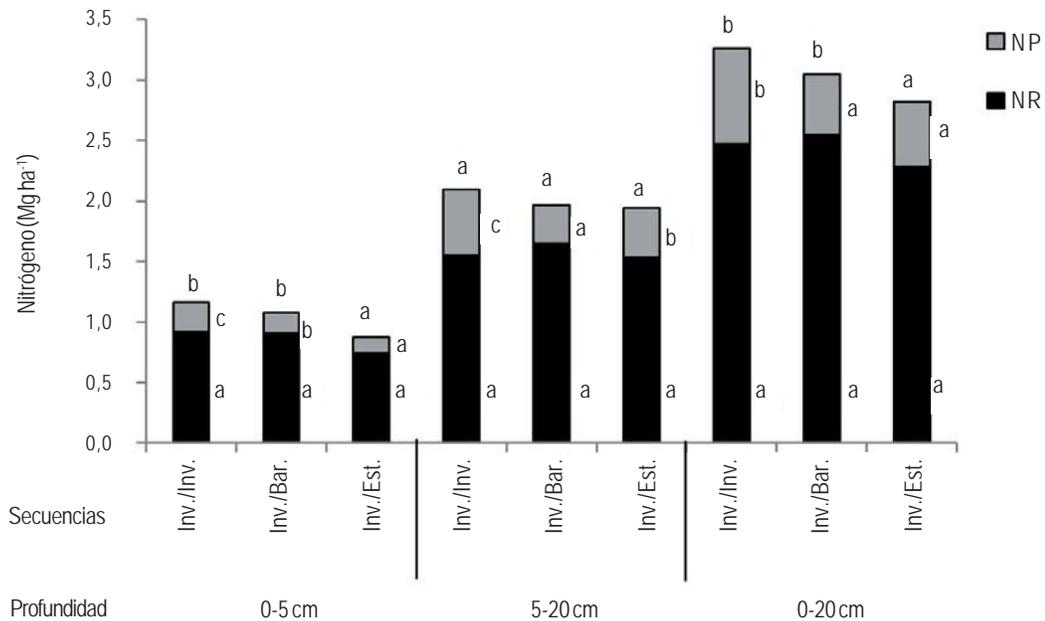


Figura 3. Contenidos de nitrógeno particulado (NP), recalcitrante (NR) y total para las distintas secuencias de cultivo y profundidades evaluadas. Figure 3. Average particulate (NP), mineral-associated fraction (NR) and total organic nitrogen stocks under the evaluated crop sequences and depths. Letras distintas indican diferencias significativas entre secuencias de cultivo para cada profundidad ($p < 0,05$). Mean values followed by different letters indicate significant differences between crop sequences for each depth ($p < 0.05$).

Se encontraron asociaciones significativas entre los contenidos de COP y NP en todas las rotaciones evaluadas. En promedio, cada Mg ha⁻¹ de COP estaría asociado a 30, 40 y 50 kg de NP en Inv./Inv., Inv./Est. e Inv./Bar., respectivamente. Lo expuesto indica diferencias en la calidad de la MO particulada en cuanto a su concentración de N, observándose un mayor aporte de este nutriente en las rotaciones que producen menor cantidad de biomasa (Kießling, 2012). Los resultados encontrados en este trabajo son similares a los observados por dicho autor, quien reporta valores entre 34 y 55 kg de NP asociados a cada Mg de COP en suelos de la región semiárida pampeana.

La relación COT/NT de la MO expresa su grado de descomposición, así como la magnitud del aporte de N durante su descomposición (Echeverría & Sainz Rozas, 2006). En el análisis realizado no se detectó efecto de los tratamientos sobre las relaciones C/N tanto en la fracción entera del suelo (< 2 mm) como en la fracción > 0,1 mm (Tabla 2). Los valores de relación COT/NT para el horizonte superficial de los suelos bajo estudio (0-20 cm) fueron de 12,7 (Inv./Bar.), 12,8 (Inv./Est.) y 13,5 (Inv./Inv.), mientras que las relaciones COP/NP mostraron valores de 13,4 (Inv./Inv.), 14,5 (Inv./Est.) y 17,2 (Inv./Bar.). Para ambos parámetros descriptos en este trabajo, los resultados fueron similares a los reportados por Galantini *et al.* (2007a) y Martínez *et al.* (2013) en lotes bajo SD del sudoeste bonaerense.

CONCLUSIONES

En este trabajo se pretendió reflejar la realidad de campo trabajando sobre lotes en producción ubicados en la región pampeana semiárida sur, con el fin de evaluar el impacto de la implementación de distintas secuencias de cultivo bajo SD en condiciones de aplicación no controladas.

Los resultados obtenidos mostraron que en los lotes bajo SD continua con secuencias de cultivos invernales y estivales, los porcentajes de cobertura fueron bajos e incluso menores al 30%, umbral mínimo requerido para que el sistema sea considerado conservacionista. Esta condición afectó negativamente la dinámica de la MO y el N del horizonte superficial de los suelos cuando el girasol se introdujo en las secuencias de cultivo.

Por otra parte, una mayor presencia de gramíneas invernales en las secuencias derivó en una cobertura de rastrojos más elevada y en mayores stocks de COT, COP, NT y NP respecto al tratamiento que incluye girasol. Este planteo debería considerarse para el área de estudio al

analizar la sustentabilidad del sistema, la que estaría en riesgo cuando se introducen en la secuencia especies estivales de bajos aportes de residuos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la SGCyT - UNS por aportar los fondos para realizar la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C; CR Álvarez; A Costantini & M Basanta. 2014. Carbon and nitrogen sequestration in soils under different management in the semi-arid Pampa (Argentina). *Soil Till. Res.* 142: 25-31.
- Álvarez, CR; A Costantini; A Bono; M Taboada; F Gutiérrez Boem; P Fernández & P Prystupa. 2011. Distribution and vertical stratification of carbon and nitrogen in soil under different managements in the pampean region of Argentina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35: 1985-1994.
- Andriulo, A & G Cardone. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. Pp. 65-96. *En: Panigatti, JL; G Marelli; D Buschiazzo & R Gil (ed). Siembra directa.* INTA. 333 pág.
- Bono, A; R Álvarez; D Buschiazzo & R Cantet. 2008. Tillage effects on soil carbon balance in a semiarid agroecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72: 1140-1149.
- Bremner, J & R Mulvaney. 1996. Nitrogen total and inorganic forms. *In: Sparks, D (ed). Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical Methods.* Pp: 869-919. SSSA Book Series N° 5, SSSA & ASA, Madison, WI, USA.
- Buschiazzo, D; J Panigatti & P Unger. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 49: 105-116.
- Di Rienzo, J; F Casanoves; M Balzarini; L González; M Tablada & C Robledo. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, UN de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Duval, M; JM Martínez; J Iglesias; J Galantini & L Wall. 2015. Secuencia de cultivos y su efecto sobre las fracciones orgánicas del suelo. Pp. 51-55. *En: de Sá Pereyra, E; J Galantini & G Minoldo (ed). Impacto de los sistemas actuales de cultivos sobre las propiedades químicas del suelo y sus efectos sobre los balances de carbono.* Coronel Suárez, Bs. As. INTA. 166 pág.
- Echeverría, H & H Sainz Rozas. 2006. Capítulo 4: Nitrógeno en el suelo. *En: Echeverría, H & F García (ed). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos.* Ediciones INTA, Argentina. 540 pág.
- Eiza, M; N Fioriti; G Studdert & H Echeverría. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ciencia del Suelo* 23: 59-67.
- Forján, H & M Manso. 2006. Una tecnología poco costosa: La rotación de cultivos. Chacra Experimental de Barrow. *Agrobarrow* 34: 19-21.
- Franzuebbers, A. 2004. Tillage and residue management effects on soil organic matter. Pp. 227-268. *In: Magdoff, F & R Weil (ed). Soil organic matter in sustainable agriculture.* CRC Press LLC, Boca Raton, Florida.

- Galantini, J. 2005a. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales y cultivados. Jornadas Nacionales «Materia orgánica y sustancias húmicas». CERZOS-CONICET- UNS. Bahía Blanca.
- Galantini, J. 2005b. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. Capítulo IV parte 2. Pp. 95-106. *En*: Marbán, Ly S Ratto (ed). Manual «Tecnología en análisis de suelos: Alcance a laboratorios agropecuarios». AACs.
- Galantini, J; Iglesias; C Maneiro & C Kleine. 2007a. Efectos de largo plazo sobre la materia orgánica del suelo. Pp. 11-15. *En*: Revista Técnica Especial: «La Siembra directa en los sistemas productivos del sur y sudoeste bonaerense. Galantini, J (ed). AAPRESID, CIC, CERZOS y UNS. 85 pág.
- Galantini, J; M Landriscini & C Hevia. 2007b. Contenido y calidad de la materia orgánica particulada del suelo. Pp. 36-40. *En*: Revista Técnica Especial: «La siembra directa en los sistemas productivos del sur y sudoeste bonaerense». Galantini, J (ed). AAPRESID, CIC, CERZOS y UNS. 85 pág.
- García Préchac, F. 2004. Cultivo continuo en siembra directa o rotaciones de cultivos y pasturas en suelos pesados del Uruguay. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Hevia, G; M Méndez & D Buschiazzo. 2007. Tillage affects soil aggregation parameters linked with wind erosion. *Geoderma* 140: 90-96.
- Karayel, D. 2009. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean. *Soil Till. Res.* 104: 121-125.
- Kassam, A; T Friedrich; R Derpsch & J Kienzle. 2015. Overview of the worldwide spread of conservation agriculture, field actions science reports [online]. Vol. 8. <http://factsreports.revues.org/3966> (verificado el 16/08/2016).
- Kiessling, RJ. 2012. Cambios en algunas propiedades químicas y físicas del suelo en sistemas productivos del sudoeste bonaerense: efecto del sistema de labranza, nivel de fertilización nitrogenada y pastoreo directo. Tesis Magíster. UNS. 120 pp.
- Koutika, S; N Dassonville; S Vanderhoeven; L Chapuis-Lardy & P Meerts. 2008. Relationships between C respiration and fine particulate organic matter (250-50 µm) weight. *Eur. J. Soil Biol.* 44: 18-21.
- Kruger, H; Frola, F & J Zilio. 2014. Trigo en zonas marginales. Precipitaciones, retención en el suelo y EUA. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Krupinsky, J; S Merrill; D Tamaka; M Liebig; M Lares & J Hanson. 2007. Crop residue coverage of soil influenced by crop sequence in a no-till system. *Agron. J.* 99: 921-930.
- Lal, R; D Reicosky & J Hanson. 2007. Editorial: Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil Till. Res.* 93: 1-12.
- López, F; M Duval; JM Martínez & J Galantini. 2015. Cobertura en el sudoeste bonaerense en suelos bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 33: 273-281.
- Martínez, J; M Landriscini & J Galantini. 2013. Eficiencia del uso del nitrógeno y del agua para trigo en suelos del SO Bonaerense. Pp. 35-43. *En*: Ciencia y experiencia para una SD sustentable en los ambientes frágiles del S y SO Bonaerense. Galantini, J (ed). CIC, UNS, CERZOS-CONICET, AAPRESID. 121 pág.
- Morrison, JE; C Huang; D Lightle & C Daughbtry. 1993. Residue measurement techniques. *J. Soil Water Conserv.* 48: 479-483.
- Nelson, D & L Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp. 961-1010. *In*: Sparks, D *et al.* (ed). Methods of soil analysis. Part 3. SSSA. Book Series 5. SSSA & ASA, Madison, WI.
- Noellemeyer, E; R Fernández & A Quiroga. 2013. Crop and tillage effects on water productivity of dryland agriculture in Argentina. *Agriculture* 3: 1-11.
- Novelli, L; O Caviglia & R Melchiori. 2011. Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. *Geoderma* 167: 254-260.
- Power, J & J Doran. 1988. Role of crop residue management in nitrogen cycling and use. Pp. 101-113. *In*: Hargrove, WL (ed). Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen. ASA Special Publication N° 51. SSSA, Madison, WI., EEUU.
- Quiroga, A & D Funaro. 2004. Materia orgánica. Factores que condicionan su utilización como indicador de calidad en Mollisoles de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Quiroga, A; R Fernández & D Funaro. 2005. Materia orgánica en Molisoles de la región semiárida pampeana. Influencia sobre propiedades físicas y productividad. Jornadas Nacionales «Materia orgánica y sustancias húmicas». Bahía Blanca.
- Quiroga, A; C Gaggioli & E Noellemeyer. 2015. Contribución al manejo sustentable de suelos en zonas semiáridas. Pp. 161-166. *En*: de Sá Pereyra, E; J Galantini & G Minoldo (ed). Impacto de los sistemas actuales de cultivos sobre las propiedades químicas del suelo y sus efectos sobre los balances de carbono. Coronel Suárez, INTA. 166 pág.
- Reicosky, D. 2008. Carbon sequestration and environmental benefits from no-till systems. Pp. 43-58 in: Goddard, T. *et al.* (ed). No-Till Farming Systems. Special Publication N° 3. World Association of Soil and Water Conservation, 544 pág.
- Ruffo, M & A Parsons. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 21: 13-20.
- Sánchez, S; G Studdert & H Echeverría. 1998. Dinámica de la mineralización del nitrógeno de residuos en descomposición en un Argiudol típico. *Ciencia del Suelo* 16: 1-6.
- Schmidt, E; M Villamil & N Amiotti. 2013. Effects of no-till and reduced tillage on soil physical and biochemical properties in the semiarid pampean region, Argentina. ASA, CSSA & SSSA International Annual Meeting, Florida.
- Scian, B. 2010. Capítulo I: Clima- Bahía Blanca y Sudoeste Bonaerense. Pp. 27-67. *En*: Paoloni, JD (compil). Ambientes y Recursos Naturales del Partido de Bahía Blanca: Clima, Geomorfología, Suelos y Aguas (Sudoeste de la provincia de Bs. As.). 1° Ed. Bahía Blanca, UNS, EdiUNS. 240 pág.
- Soil Survey Staff - USDA. 2010. Keys to Soil Taxonomy, 11th ed. USDA-NRCS, Washington, DC.
- Studdert, G; L Carabaca & H Echeverría. 2000. Estimación del nitrógeno mineralizado para un cultivo de trigo en distintas secuencias de cultivos. *Ciencia del Suelo* 18: 17-27.
- Thomas, G; R Dalal & J Standley. 2007. No-till effects on organic matter, pH, cation exchange capacity and nutrient distribution in a Luvisol in the semiarid subtropics. *Soil Till. Res.* 94: 295-304.
- West, T & W Post. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1930-1946.

