

El cultivo de trigo en la región semiárida bonaerense: impacto sobre algunas propiedades químicas del suelo

DUVAL, M.¹; GALANTINI, J.²; IGLESIAS, J.³; KRÜGER, H.⁴

RESUMEN

La intensificación de la agricultura en la región semiárida se caracterizó por una disminución del área destinada a pasturas, a favor de la superficie con monocultivo de trigo. En este contexto, la rotación de cultivos, la fertilización, el manejo de los residuos y el agua edáfica son aspectos fundamentales para el aumento de la productividad del trigo en esta región. Se planteó como objetivo cuantificar los cambios cuali y cuantitativos en sistemas de producción sobre algunas propiedades de un suelo de la región semiárida bonaerense, luego de 22 años de producción. El trabajo se realizó en la EEA del INTA Bordenave. Se estudiaron las siguientes secuencias de cultivos: TT LC (monocultivo de trigo con labranza conservacionista (LC), 1983-2006); TT SD (monocultivo de trigo con LC, 1983-1999, y con siembra directa (SD), 1999-2006) y TP (manejo tradicional, un año trigo y un año alternativamente con pastoreo de los rastrojos, 1983-2006). En cada uno se evaluó el carbono orgánico total (COT), el nitrógeno total (Nt), el fósforo extraíble (Pe) y el pH en agua. Se realizó un fraccionamiento por tamaño de partícula, en las que se determinó el CO y N. En general, los niveles de COT mostraron un efecto significativo de la rotación, fertilización y la labranza. En los tratamientos no fertilizados, el manejo tradicional presentó los niveles más altos de COT y el monocultivo las mayores pérdidas. En las parcelas fertilizadas, los niveles de COT fueron significativamente más altos en SD, principalmente en los primeros 5 cm del suelo, mientras que en los suelos con labranza no se observaron diferencias. En 0-20 cm se observó mayor concentración de COP en monocultivo que en manejo tradicional. El Nt fue significativamente más alto en el manejo tradicional respecto del monocultivo de trigo sin fertilizante. La SD fue el único sistema que produjo diferencias significativas por efecto de la fertilización. A su vez, la fertilización produjo una tendencia a la acumulación del Pe frente a los no fertilizados en la profundidad (5-10 y 10-20), que fueron significativos en los tratamientos con monocultivo. Para las condiciones edafo-climáticas de la región, la inclusión de la SD como práctica de manejo mejoró la condición orgánica del suelo sólo cuando se combinó con el uso de fertilizantes.

Palabras claves: rotación de cultivos, labranzas, fertilización.

¹CONICET, CERZOS-Depto. de Agronomía; San Andrés 800, 8000 Bahía Blanca, Argentina.

Correo electrónico: mduval@criba.edu.ar

²Comisión de Investigaciones Científicas, Pcia. Bs. As., CERZOS y Depto. de Agronomía, Universidad Nacional del Sur (UNS)

³Depto. de Agronomía, Universidad Nacional del Sur (UNS)

⁴EEA INTA Bordenave. Ruta Provincial 76 Km 36,5 (8187), Bordenave, provincia de Buenos Aires.

ABSTRACT

The intensification of the agriculture in the Semiarid Region was characterized by a decrease of the area destined for pastures, in favour of the surface with monoculture of wheat. In this context, crop rotation, fertilization, and the residue management and soil water are fundamental to increasing the productivity of wheat in this region. The objective was to quantify the qualitative and quantitative changes in production systems on some properties of a semiarid soil from Buenos Aires after 22 years of production. The study was conducted in the EEA INTA Bordenave. We studied the following crop sequences: WW CT (wheat monoculture with conservation tillage (CT), 1983-2006), WW NT (wheat monoculture with CT, 1983-1999, and no-till (NT), 1999-2006) and WG (conventional management, wheat and grazing of natural grasses, alternatively one year each). Total organic carbon (TOC), total nitrogen (Nt), extractable phosphorus (Pe) and pH in water were measured. Fractionation was performed by particle size, which was determined the OC and N. In general, TOC levels showed a significant effect of rotation, fertilization and tillage. In not fertilized treatments, conventional management presented higher levels of TOC and monoculture the greatest losses. In fertilized plots, TOC levels were significantly higher in NT accumulated mainly in the first 5 cm of soil, without differences in soil tillage. In 0-20 cm showed higher concentrations of POC in monoculture than in conventional management. Nt was significantly higher in conventional management respect of wheat monoculture without fertilizer. The NT was the only system that produced significant differences by effect of fertilization. Fertilization was a tendency for accumulation of Pe versus non-fertilized in depth (5-10 and 10-20 cm), remained significant in the monoculture treatment. For the conditions of soil and climate of the region, including the NT as management practices improved soil organic status only when combined with the use of fertilizers.

Key words: crop rotation, tillage, fertilization.

INTRODUCCIÓN

La intensificación de la agricultura en la región pampeana se caracterizó por una disminución de la superficie cubierta con praderas semipermanentes y un crecimiento de las áreas dedicadas a las secuencias agrícolas anuales donde prima el cultivo de soja y del doble cultivo trigo-soja. Los suelos bajo labranza convencional presentan una pérdida neta, tanto de carbono orgánico total (COT) (Quiroga *et al.*, 1996) como de nutrientes con procesos de degradación variables (Bernardos *et al.*, 2001).

Los sistemas de labranza mínima, y en especial la SD, con un uso creciente de fertilizantes se introdujeron como prácticas de manejo (PM) en la década de 1990 y se adoptaron a un ritmo exponencial (MinAgri, 2011). Actualmente, entre el 60 y el 80% de la superficie sembrada de los principales cultivos pampeanos se realiza bajo SD.

La SD es una de las PM recomendadas para aumentar el COT en los ecosistemas agrícolas (Lal *et al.*, 1998). Sin embargo, en la región pampeana se observaron aumentos desde el 6 al 15% del COT dentro de los primeros 10 años de SD, que pueden ser mayores o menores en función de la metodología de cálculo (Galantini e Iglesias, 2007).

La materia orgánica (MO) es un importante atributo de la calidad del suelo, ya que de ella dependen muchas de sus propiedades químicas, físicas y biológicas. La MO y sus diferentes fracciones son componentes del suelo altamente influenciados por las PM (Haynes, 2005). En particular, las fracciones lábiles son indicadores potencialmente sensibles a los cambios por las PM o las condiciones ambientales (Sharifi *et al.*, 2008, Yoo y Wander, 2008).

Las diferentes prácticas utilizadas en los sistemas de producción tienen un fuerte impacto sobre el balance de carbono (C) en el suelo. La cantidad, momento y tipo de labranzas afectan la accesibilidad de los microorganismos a los residuos (Balesdent *et al.*, 2000). La rotación de cultivos modifica la cantidad, el momento y la calidad de los materiales que ingresan al suelo (Lorenz y Lal, 2005). A su vez, la fertilización aumenta la producción y exportación de nutrientes estimulando, al mismo tiempo, su ciclado (Galantini *et al.*, 2000).

Conocer la dinámica de las variables edáficas que son sensibles al manejo y que están afectadas por distintas rotaciones y sistemas de labranza (SL), contribuirá al diagnóstico y a la toma de decisiones respecto a qué prácticas implementar para el logro de una agricultura ambiental, económica y productivamente sustentable.

En la región semiárida existen estudios del monocultivo de trigo que remarcan los efectos positivos de la fertilización y la inclusión de leguminosas sobre las propiedades físicas y químicas del suelo (Miglierina *et al.*, 2000, Minoldo, 2010), el reciclado y la exportación de nutrientes (Galantini *et al.*, 2000, 2004). Sin embargo, existen pocos estudios que analicen los efectos de largo plazo sobre las fracciones orgánicas.

El objetivo del presente trabajo fue cuantificar los cambios cuali y cuantitativos en sistemas de producción sobre algunas propiedades de un suelo de la región semiárida bonaerense, luego de 22 años de producción con y sin la aplicación de fertilizante y distintas PM.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en un lote demostrativo de sistemas de producción en la EEA del INTA Bordenave (37° 45' 47,9" S y 63° 05' 56,8" O). La caracterización climática y edáfica del sitio se encuentra en Galantini y Rosell, 2006. Los sistemas de producción estudiados comenzaron en 1983 sobre una pastura (REF) y consistieron en: TT LC, monocultivo de trigo con labranza conservacionista (LC), 1983-2006; TT SD, monocultivo de trigo con LC, 1983-1999, y con SD, 1999-2006 y TP, un año trigo – un año alternativamente pastoreo de los rastrojos con bovinos. En el texto, se consideran TT y TP como monocultivo y manejo tradicional, respectivamente.

Los tratamientos se dividieron en no fertilizado (nf) y fertilizado (f), aplicado al azar todos los años en cantidad: 64 kg de N y 16 kg de P en forma de urea y fosfato de amonio.

En TP se utilizó laboreo convencional (barbecho muy corto, arado, rastra de discos y sistema de siembra plano), mientras que en TT el laboreo fue conservacionista (barbecho largo, con cobertura de residuos, labranza vertical y sistema de siembra en surco profundo). Se incluyen como referencia los valores correspondientes al suelo sin cultivar adyacente a los tratamientos, mantenido con la pastura original desde el inicio de la experiencia que fueron obtenidos en un muestreo realizado en el año 1991.

Como la profundidad de la capa calcárea es variable, se eligieron tres sectores (bloques completos aleatorizados) dentro de cada sistema con profundidad de tosca uniforme (80 cm). En enero de 2006 se realizó un muestreo de suelos a las profundidades: 0-5, 5-10 y 10-20 cm. En cada uno de los sistemas de producción y dentro de cada bloque se tomaron tres muestras compuestas (10 submuestras) de dichas profundidades.

En las muestras de suelo secadas al aire y tamizadas por 2 mm, se determinaron las siguientes propiedades químicas:

COT, por el método de combustión seca (1500 °C, LECO C Analyser).

- Nt, método de Kjeldhal (Bremner, 1996).
- Pe, método de Bray y Kurtz (1945).
- pH (relación suelo:agua 1:2,5)

Se realizó un fraccionamiento por tamaño de partícula (Galantini, 2005) y se separó la MO particulada (MOP, >0,1 mm) de la MO asociada a la fracción mineral (MOM, <0,1 mm), en las que se determinó CO y N.

Se estimó la producción de residuos de cosecha a partir de los rendimientos de grano (Galantini *et al.*, 2005, Krüger, comunicación personal) mediante la utilización del índice de cosecha (IC). Las entradas de C al suelo mediante los residuos de los cultivos fueron estimados asumiendo una concentración C de 42,3% (Bolinder *et al.*, 2007).

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se utilizó ANOVA y el test DMS para la comparación de medias

($p < 0,05$) a través del INFOSTAT Software estadístico versión 2008.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carbono orgánico

Los niveles de COT en 0-20 cm mostraron una marcada disminución por efecto de las prácticas agrícolas que fueron del 33%, en promedio, para todos los tratamientos. Se observó un efecto significativo y variable de la rotación, de la fertilización y de la labranza (tabla 2).

La cantidad de C aportado al suelo durante los 22 años de ensayo fue diferente entre los sistemas de producción tradicional y monocultivo, sin observarse variaciones por el sistema de labranza SD y LC (tabla 1). En ambientes similares, Shrestha *et al.* (2012), observaron los mismos resultados, ya que la entrada de C al suelo por parte de los residuos varió significativamente por la frecuencia de cultivos y poco por el sistema de labranza. Sin embargo, este aporte no se reflejó en los niveles de COT, ya que en los tratamientos no fertilizados, el COT fue significativamente más alto con manejo tradicional, como consecuencia del menor periodo de barbecho y la menor cantidad de labranzas (1 año cultivo – 1 pastoreo). A su vez, el pisoteo animal y la falta de humedad adecuada para la descomposición de residuos favorecerían la conservación del COT y, bajo SD, hay condiciones de humedad más favorables que incrementan dicha descomposición. Debido a rendimientos ligeramente menores en este tratamiento y por el consumo animal (Krüger, comunicación personal), el aporte anual de C por los residuos con el manejo tradicional fue menor (73%). Eso pone en evidencia el efecto positivo de la reducción de las labranzas sobre la reserva de COT.

No se encontraron diferencias en el monocultivo por el sistema de labranza. Sin fertilización, disminuyó el aporte de C por parte de los residuos y se reflejó en los menores niveles de COT en monocultivo, sea en LC como en SD (tabla 1). Resultados similares fueron encontrados por Meler *et al.* (2011), sobre vertisoles donde la rotación trigo-barbecho reflejó los menores niveles de COT en ambos sistemas de labranza.

Al fertilizar, se observó un incremento del COT en 0-20 cm en monocultivo, tanto en LC como en SD. En el monocultivo fertilizado los valores fueron significativamente mayores en SD como consecuencia de la mayor acumulación superficial

Tratamiento	Aportes de carbono (Mg ha ⁻¹)
TP-nf	11
TP-f	12
TT-nf	41
TT-f	64

Tabla 1. Estimación del carbono devuelto al suelo por residuos de cosecha durante 1983-2006.

(0-5 cm). Esta acumulación superficial bajo SD también fue reportada en otros sitios en la Argentina (Buschiazzi *et al.*, 1998) y otros países (Blanco-Canqui y Lal, 2008; Sombrero y de Benito, 2010). Generalmente, las diferencias superficiales a favor de la SD desaparecen o se revierten si se consideran profundidades de suelo mayores de 10 a 15 cm (Quiroga *et al.*, 1996; Jagadamma y Lal, 2010).

Al igual que en estudios previos, el efecto de la fertilización en el manejo tradicional no fue significativo. En este tratamiento, las características de la capa arable y la que está por debajo de ella resultaron inapropiadas para el normal flujo del agua y ocasionaron pérdidas importantes por evaporación y escurrimiento superficial. Por ello, disminuyó el rendimiento potencial del trigo y se anuló la respuesta a la aplicación de fertilizantes (Andriulo *et al.*, 1990).

Dado que las diferencias en la productividad de los cultivos entre SD y LC no son generalmente pronunciados (McConkey *et al.*, 1996) se cree que el secuestro de C en SD está relacionado con un mayor número y estabilidad de macroagregados (Tisdall y Oades, 1982), microagregados (Six *et al.*, 2000) y una mejor protección física del COT dentro de los mismos (Jastrow *et al.*, 2007).

Los resultados muestran la necesidad de aplicar prácticas de manejo conjuntas (SD y fertilización) para un manejo sustentable del sistema. Las prácticas de manejo que favorecen la acumulación de MO interactúan positivamente entre ellas, de forma tal que la ganancia neta de MO será mayor cuando se aplican en forma combinada (Grant *et al.*, 2001).

La concentración de COP mostró diferencias significativas por tratamiento, pero no por sistema de labranza ni fertilización, a pesar de que en el monocultivo fertilizado con los dos sistemas de labranza, los valores en superficie tendieron a ser mayores que en los no fertilizados. Esta fracción depende de los aportes y salidas del sistema, por ello posiblemente bajo el manejo tradicional los valores estuvieron asociados a menores aportes de residuos por el pastoreo con vacunos.

Al analizar en todas profundidades el efecto de la fertilización no se encontraron diferencias significativas. Esto puede deberse a que las variaciones en el COP estén más influenciadas por el estado físico del suelo y la disponibilidad de agua, factores que modifican la actividad microbiana (descomposición) y la productividad del cultivo (aportes). Galantini y Rosell (2006), trabajaron sobre las mismas parcelas y afirmaron que las características climáticas previas son importantes y hay que contemplarlas al momento de evaluar las variaciones del COP por las diferentes prácticas de manejo. Se consideró a la pastura original como suelo de referencia y esta fracción orgánica fue la que sufrió mayores pérdidas por el uso productivo, ya que se encontraron pérdidas superiores al 90% en todos los tratamientos.

El carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COM) tuvo un comportamiento similar al COT. Las pérdidas por efecto del uso agrícola fueron del 60% y 53% para monocultivo y manejo tradicional, respectivamente. En el monocultivo sin fertilizar se observó la menor concentración de COM independientemente del sistema de labranza utilizado. La aplicación de fertilizante en monocultivo produjo un

prof	TT		TT		TP		Ref
	SD nf	SD f	LC nf	LC f	nf	f	
COT %							
0-5	1,06 ab	1,51c	1,01 a	1,25 b	1,19 ab	1,13 ab	2,00
5-10	0,84 a	1,11 bc	0,91 a	1,05 b	1,20 c	1,16 bc	1,47
10-20	0,70 a	0,95 c	0,83 b	0,91 bc	0,94 c	0,90 bc	1,26
0-20	0,82 a	1,13 c	0,89 a	1,03 b	1,07 bc	1,02 b	1,50
COP %							
0-5	0,30 ab	0,43 b	0,31 ab	0,40 b	0,21 a	0,19 a	0,668
5-10	0,13 a	0,17 a	0,19 a	0,14 a	0,17 a	0,14 a	0,491
10-20	0,07 ab	0,10 b	0,06 a	0,05 a	0,07 ab	0,07 ab	0,421
0-20	0,14 ab	0,20 b	0,15 ab	0,16 ab	0,13 a	0,12 a	0,501
COM %							
0-5	0,76 ab	1,08 d	0,70 a	0,85 abc	0,98 cd	0,93 bcd	1,332
5-10	0,70 a	0,95 bc	0,71 a	0,91 b	1,03 c	1,02 bc	0,979
10-20	0,63 a	0,85 bc	0,78 b	0,85 bc	0,87 c	0,83 bc	0,839
0-20	0,69 a	0,94 b	0,73 a	0,88 b	0,96 b	0,93 b	1,000

Tabla 2. Carbono orgánico total (COT), particulado (COP) y asociado a la fracción mineral (COM) bajo secuencias de cultivos, labranzas y fertilización.

aumento en el nivel de COM, debido a que: en SD hay una mayor humificación en todas las profundidades (aporte de materia seca superficial en 0-5 cm y mayor aporte de raíces en 5-20). En cambio, en LC el aporte de materia seca se distribuye principalmente en los 10 a 15 cm superficiales (profundidad de las labores). Posiblemente, por esa razón ese aporte compensa la mayor actividad descomponedora de las labranzas encontrándose diferencias significativas respecto de SD sólo en 0-5 cm.

Nitrógeno

El porcentaje de Nt del suelo mostró diferencias significativas y variables debidas a la secuencia de cultivos, a la fertilización y a la labranza (tabla 3). Los valores encontrados en la profundidad 0-20 cm para los tratamientos sin fertilizar fueron más altos en el manejo tradicional respecto de monocultivo. Con la aplicación de fertilizante solo, se encontró un significativo aumento en monocultivo bajo SD. Además, se observaron cambios en la distribución del nitrógeno dentro de la profundidad 0-20 cm. En manejo tradicional, la parcela fertilizada mostró menos N en los 5-10 cm que la no fertilizada, acompañando a los cambios que se observaron en la MO, ya que ambos están relacionados y la mayor parte del Nt se encuentra en la MO.

En el monocultivo bajo LC se produjo un incremento significativo del N en los 5-10 cm de la parcela fertilizada y no en las otras profundidades estudiadas, donde las labranzas incorporan los residuos.

Cuando no se fertilizó no se encontraron diferencias significativas en el monocultivo entre sistemas de labranza, si bien se observó una tendencia a incrementarse en 0-5 cm en SD y 5-10 y 10-20 en LC. Muchos trabajos han reportado mayores contenidos totales de C y N en la capa superficial en los monocultivos de trigo bajo SD (Tan y Lal, 2005; Meleró *et al.*, 2011).

El contenido de N-MOP siguió una tendencia semejante a la comentada para el Nt, pero con menos diferencias.

Los valores encontrados en monocultivo bajo LC y manejo tradicional fueron semejantes, mientras que en SD tendió a disminuir en la parcela no fertilizada y a aumentar en la fertilizada.

Analizando las diferentes profundidades, se observó que la mayor parte del N-MOP se encontró en 0-10 cm, con cambios pequeños y, generalmente, no significativos entre tratamientos.

Al igual que para Nt, el monocultivo de trigo bajo SD fertilizado fue el tratamiento con diferencias significativas en todas las profundidades.

Fósforo extractable

En 0-20 cm se encontraron diferencias significativas sólo en monocultivo bajo LC por la aplicación de fertilizante, en cambio, en SD si bien hay un ligero aumento del Pe, este no fue significativo (tabla 4).

En los tratamientos fertilizados en la profundidad 5-10 y 10-20 cm, se observó una tendencia a una mayor concentración de Pe frente a los no fertilizados que fueron significativos en el monocultivo. Mientras que en superficie no se observaron diferencias. Debido a que P es relativamente inmóvil en el suelo, el material residual del fertilizante tiende a acumularse cerca del punto de colocación (Selles, 1993).

En SD se observó una mayor concentración de Pe en 0-5 cm, dada la poca movilidad de este elemento. Este efecto se debería al bombeo del P, el cual se toma de las capas profundas como fósforo inorgánico (Pi) y es llevado a la superficie y acumulado en los residuos de los cultivos como fósforo orgánico (Po) que luego, por acción de los microorganismos del suelo, se mineraliza a formas inorgánicas que son la principal fuente del Pe (Suñer *et al.*, 2007). La SD cambia el ambiente edáfico y puede alterar los equilibrios y la dinámica del P (Galantini *et al.*, 2007). Mayores concentraciones de P en la superficie después de la implementación de la SD fueron atribuidas a las formas orgánicas lábiles

prof	TT		TT		TP	
	SD nf	SD f	LC nf	LC f	nf	f
	Nt %					
0-5	0,098 ab	0,139 c	0,087 a	0,097 ab	0,106 b	0,102 ab
5-10	0,077 a	0,103 b	0,085 a	0,096 b	0,106 c	0,099 b
10-20	0,065 a	0,100 c	0,080 abc	0,071 ab	0,089 bc	0,084 abc
0-20	0,077 a	0,111 c	0,083 a	0,083 a	0,098 b	0,092 b
	N-MOP %					
0-5	0,020 ab	0,030 b	0,022 ab	0,027 b	0,020 ab	0,012 a
5-10	0,010 a	0,021 b	0,018 ab	0,010 a	0,018 b	0,019 b
10-20	0,006 a	0,014 a	0,009 a	0,008 a	0,009 a	0,010 a
0-20	0,010 a	0,019 c	0,015 abc	0,014 bc	0,014 abc	0,013 a

Tabla 3. Concentración de N en el suelo bajo diferentes secuencias de cultivos, labranzas y fertilización.

prof	TT		TT		TP	
	SD nf	SD f	LC nf	LC f	nf	f
Pe (ppm)						
0-5	35,88 b	34,45 b	21,81 a	31,69 ab	27,29 ab	31,63 ab
5-10	13,84 ab	22,18 c	11,29 a	22,87 c	19,76 bc	25,52 c
10-20	6,31 ab	13,26 c	4,75 a	12,10 bc	7,22 abc	12,54 bc
0-20	15,58 ab	20,78 b	10,65 a	19,70 b	15,38 ab	20,54 b

Tabla 4. Fósforo extraíble (Pe) ppm de suelo bajo diferentes secuencias de cultivos, labranzas y fertilización.

prof	TT		TT		TP	
	SD nf	SD f	LC nf	LC f	nf	f
0-5	6,6 b	6,2 a	6,5 b	6,1 a	6,3 a	6,3 a
5-10	6,7 b	6,1 a	6,4 a	6,2 a	6,3 a	6,3 a
10-20	6,6 c	6,2 a	6,5 bc	6,4 b	6,5 bc	6,3 ab
0-20	6,6 d	6,2 a	6,4 bc	6,3 ab	6,4 bc	6,3 b

Tabla 5. Valores de pH bajo diferentes secuencias de cultivos, labranzas y fertilización.

y moderadamente lábiles de P (Selles *et al.*, 1999). En el manejo tradicional hay menor efecto del fertilizante debido a que se aplicó cuando se realizó el cultivo de trigo (mitad de años de aplicación) y la cantidad de residuos que quedan en la superficie fue menor, por la menor cantidad de años con trigo (mitad) y por el pastoreo de los rastrojos.

pH

La acidez del suelo es frecuentemente modificada por las prácticas de manejo. El pH de los diferentes tratamientos (tabla 5) en 0-20 cm varió entre 6,2 y 6,6. Si bien se observaron oscilaciones, fueron pequeñas e indicarían una cierta estabilidad de los sistemas sin diferencias importantes entre tratamientos.

Se encontró una ligera disminución, pero significativa, del pH por la aplicación de fertilizante en monocultivo bajo SD. En general, el pH desciende en sistemas de SD como resultado de aumentos en los contenidos de materia orgánica (Buschiazzo y Panigatti, 1996) o de la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Blevins *et al.*, 1983).

En el monocultivo de trigo se observaron diferencias significativas en los 0-20 cm del suelo bajo SD respecto de LC no fertilizados. Al analizar las profundidades se encontraron valores significativamente mayores en los 5-10 cm de SD que coincidieron con el aumento en el contenido de COT.

CONCLUSIONES

Después de 22 años, el monocultivo de trigo sin fertilizante produjo la mayor pérdida de las fracciones orgánicas.

El pasaje de LC a SD mejoró la condición orgánica del suelo sólo cuando se realizó junto con aplicación de fertilizante.

La implementación continua de prácticas de producción sostenibles (especialmente en combinación de SD y fertilización) puede mantener o aumentar los contenidos de MO y nutrientes en el suelo y de facilitar la transformación de CO a depósitos de C más estables.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Programa de Áreas Estratégicas (PAE) del MINCyT, BIOSPAS, N.° 36976 y la EEA INTA Bordenave.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRIULO, A.; GALANTINI, J.; IGLESIAS, J.; ROSELL, R.; GLAVE, A. 1990. Sistemas de producción con trigo en el sudoeste bonaerense. II. Algunas propiedades físicas edáficas ligadas al agua. En actas del II Congreso Nacional de Trigo, 17-19 de octubre, Pergamino, I, 219-225.
- BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage Soil Till. Res. 53: 215-230.
- BERNARDOS, J.; VIGLIZZO, E.; JOUVET, V.; LÉRTORA, F.; PORDOMINGO, A.; CID, F. 2001. The use of EPIC model to study the agroecological change during 93 years of farming transformation in the Argentine Pampas. Agric. Syst. 69, 215-234.
- BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. 2008. No-tillage and soil-profile carbon sequestration: an on farm assessment. Soil Sci. Soc. Am. J. 72 (3), 693-701.
- BLEVINS, R.L.; SMITH, M.S.; THOMAS, G.W.; FRYE, W.W. 1993. Influence de conservation tillage on soil properties. J. soil Water Conserv. 38: 301-305.

- BOLINDER, M.A.; JANZEN, H.H.; GREGORICH, E.G.; ANGERS, D.A.; VANDENBYGAART, A.J. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118: 29-42.
- BRAY, R.; KURTZ, L. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39.
- BREMNER, J. 1996. Nitrogen - Total. En: *Methods of Soil Analysis, Part 3*. Ed. Sparks, D.L., Chemical Methods, SSSA-ASA, Madison, WI, USA. p.: 1085-1123.
- BUSCHIAZZO, D.; PANIGATTI, J.; UNGER, P. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 49, 105-116.
- DICK, W. 1983. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47, 102-107.
- GALANTINI, J. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: *Manual "Información y Tecnología en los Laboratorios de Suelos para el Desarrollo Agropecuario Sostenible"* Eds. L. Marban y S. Ratto de la AACS. Capítulo IV parte 2, 95-106.
- GALANTINI, J.; LANDRISCINI, M.; ROSELL, R. 2000. Patrones de acumulación, balance y partición de nutrientes en diferentes sistemas de producción de trigo. *Rev. Inv. Agrop. (RIA-INTA)* 29 (2) 99-110.
- GALANTINI, J.; SENESI, N.; BRUNETTI, G.; ROSELL, R. 2004. Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils. *Geoderma* 123: 143-152.
- GALANTINI, J.; SUÑER, L.; KRÜGER, H. 2005. Dinámica de las formas de P en un Haplustol de la Región Semiárida Pampeana durante 13 años de trigo continuo. *Rev. Inv. Agrop. (RIA-INTA)* 34 (2) 13-31.
- GALANTINI, J.; ROSELL, R. 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils. *Soil Till. Res.* 87: 72-79.
- GALANTINI, J.; IGLESIAS, J. 2007. Capacidad de secuestro de carbono y efecto de las prácticas agronómicas en suelos de la Región Pampeana de Argentina. En: *"Captura de Carbono en Ecosistemas Terrestres de Iberoamérica"* Ed. J. Gallardo. Págs. 169-182.
- GRANT, F.; JUMA, N.; ROBERTSON, J.; IZAURRALDE, R.; MCGILL, W. 2001. Long-term changes in soil carbon under different fertilizer, manure, and rotation: Testing the mathematical model ecosys with data from the Breton plots. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 205-214.
- HAYNES, R. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An overview. *Adv. in Agron.* 85:221-268.
- JAGADAMMA, S.; LAL, R. 2010. Distribution of organic carbon in physical fractions of soils as affected by agricultural management. *Biol. Fertil. Soils* 46, 543-554.
- JASTROW, J.; AMONETTE, J.; BAILEY, V. 2007. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. *Climate Change* 80 (1), 5-23.
- LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F.; COLE, C.V. (Eds.), 1998. *The Potential for US Cropland to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. Ann Arbor Science, Chelsea MI.
- LORENZ, K.; LAL, R. 2005. The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons. *Adv. Agron.* 88:35-66.
- MCCONKEY, B.; CAMPBELL, C.; ZENTNER, R.; DYCK, F.; SELLES, F. 1996. Long-term tillage effects on spring wheat production on three soil textures in the Brown soil zone. *Can. J. Plant Sci.* 76, 747-756.
- MELERO, S.; LÓPEZ-BELLIDO, R.; LÓPEZ-BELLIDO, L.; MUÑOZ-ROMERO, V.; MORENO, F.; MURILLO, J. 2011. Long-term effect of tillage, rotation and nitrogen fertiliser on soil quality in a Mediterranean Vertisol. *Soil Till. Res.* 114, 97-107.
- MIGLIERINA, A.; IGLESIAS, J.; LANDRISCINI, M.; GALANTINI, J.; ROSELL, R. 2000. The effects of crop rotations and fertilization on wheat productivity in the pampean semiarid region of Argentina. 1. Soil physical and chemical properties. *Soil Till. Res.* 53: 129-135.
- MINOLDO, G. 2010. Impacto de largo plazo de diferentes secuencias de cultivos del sudoeste bonaerense sobre algunas propiedades químicas del suelo y la productividad del trigo. Tesis de Especialización, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, 153 págs.
- QUIROGA, A.; BUSCHIAZZO, D.; PEINEMANN, N. 1996. Soil organic matter particle size fractions in soils of the Semiarid Argentinean Pampas. *Soil Sci.* 161, 104-108.
- MINAGRI. 2011. Estimaciones agrícolas. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación www.minagri.gov.ar
- SHARIFI, M.; ZEBARTH, B.; BURTON, D.; GRANT, C.; BITTMAN, S.; DRURY, C.; MCCONKEY, B.; ZIADI, N. 2008. Response of potentially mineralizable soil nitrogen and indices of nitrogen availability to tillage system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72, 1124-1131.
- SHRESTHA, B.M.; MCCONKEY, B.G.; SMITH, W.N.; DESJARDINS, R.L.; CAMPBELL, C.A.; GRANT, B.B. and MILLER, P.R. 2013. Effects of crop rotation, crop type and tillage on soil organic carbon in a semiarid climate. *Can. J. Soil Sci.* 93: 137-146.
- SELLES, F. 1993. Residual effect of phosphorus fertilizer when applied with the seed or banded. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24: 951-960.
- SELLES, F.; MCCONKEY, B.G.; CAMPBELL, C.A. 1999. Distribution and forms of P under cultivator- and zero-tillage for continuous and fallow-wheat cropping systems in the semiarid Canadian prairies. *Soil Till. Res.* 51, 47-59.
- SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32, 2099-2103.
- SOMBRERO, A.; DE BENITO, A. 2010. Carbon accumulation in soil. Ten-year study of conservation tillage and crop rotation in a semi-arid area of Castile-Leon, Spain. *Soil Till. Res.* 107, 64-70.
- SUÑER, L.; GALANTINI, J.; VARELA, P.; ROSELL, R. 2007. Estratificación de las formas de fósforo en siembra directa y su relación con la disponibilidad para los cultivos. La siembra directa en los sistemas productivos del Sur y Sudoeste Bonaerense. *Rev. Téc. Sistemas productivos del Sur y Sudoeste Bonaerense*. Ed. J. Galantini, Pág. 28-31.
- TAN, Z.; LAL, R. 2005. Carbon sequestration potential estimates with changes in land use and tillage practice in Ohio. *USA. Agri. Ecosys. Environ.* 111, 140-152.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Soil Sci.* 62:141-163.
- YOO, G.; WANDER, M. 2008. Tillage effects on aggregate turnover and sequestration of particulate and humified soil organic carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72, 670-676.