



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

UTILIZACIÓN DE DOS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS CONTRASTANTES: EFECTO TEMPORALES SOBRE LAS PROPIEDADES EDÁFICAS

MATIAS E. DUVAL^{1,2*}, JUAN A. GALANTINI^{2,3}, JUAN M. MARTÍNEZ^{1,2} & FERNANDO M. LÓPEZ^{1,2}

¹CONICET, Universidad Nacional del Sur, Argentina; ² CERZOS (UNS-CONICET) Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Argentina; ³ Comisión de Investigaciones Científicas, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *San Andrés 800-Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

* mduval@criba.edu.ar.

Palabras clave: Siembra directa; Fracciones orgánicas; Análisis multivariado

Resumen

La tasa de recambio de las fracciones orgánicas lábiles varía continuamente a causa de los diferentes usos y manejos del suelo, condiciones climáticas y momento de muestreo. Se planteó como objetivo cuantificar el efecto de los diferentes factores de variación (Tratamiento, Sitio y Época) sobre el carbono orgánico total (COT) y sus fracciones: CO particulado grueso y fino (COP_g y COP_f), CO asociado a la fracción mineral (COM) y carbohidratos totales (CHt). En cuatro sitios de la Pampa argentina, tres tratamientos fueron definidos de acuerdo con el uso del suelo: dos escenarios agrícolas distintos en términos de rotación de cultivos y fertilización (Buenas y Malas Prácticas Agrícolas, BP y MP, respectivamente) y un suelo natural (AN). Durante dos años consecutivos (2010 y 2011) y en dos momentos diferentes (Febrero y Septiembre) se tomaron muestras sin disturbar a 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm de profundidad. Las disminuciones de COT por las prácticas agrícolas fueron, principalmente, a partir del COP_g . El índice de reserva de carbono (IRC), que relaciona el contenido de COT del suelo bajo prácticas agrícolas con el suelo de referencia (AN), reflejó que los tratamientos agrícolas causaron mayores variaciones en todas las fracciones lábiles en comparación con el COT. Dichas variaciones temporales aumentaron en el siguiente orden $COP_g > CHt \geq COP_f > COT > COM$. El IRC fue un indicador sensible de calidad del suelo en estos sistemas bajo SD. El análisis multivariado permitió diferenciar las propiedades del suelo sensibles a las prácticas agronómicas, donde propiedades químicas (COP_f y CHt), físicas (densidad aparente y macroporos), e índices (COT/arcilla, índice de estabilidad estructural), fueron las variables que mejor explicaron la varianza total del conjunto de datos. Estos indicadores/índices, deben ser incluidos en cualquier conjunto mínimo de datos para evaluar la calidad de suelos agrícolas bajo SD.



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Introducción

El uso de la tierra para fines agrícolas es una de las principales causas de degradación del suelo, y por lo tanto existe un gran interés en la cuantificación de la pérdida de calidad del suelo (CS) generada por el manejo agrícola (Lal *et al.*, 1998). Entre las diferentes prácticas agrícolas, la agricultura conservacionista preserva la estructura del suelo, la productividad y la biodiversidad a través de tres principios básicos: labranza mínima o siembra directa (SD), cultivos de cobertura y rotación de cultivos (ECAFA, 1999). El incremento de la presión de uso de las tierras a nivel mundial aumenta la magnitud e intensidad de los procesos de deterioro y los desequilibrios de los agroecosistemas. En la Región Pampeana este efecto se acentuó por una disminución de la superficie cubierta con praderas semipermanentes y crecimiento de las áreas dedicadas a las secuencias agrícolas anuales donde predomina el cultivo de soja (*Glycine max* [L.] Merr.) sobre todo como una única cosecha anual. Dichos cambios provocan notables alteraciones en la dinámica del carbono orgánico total del suelo (COT), lo cual puede repercutir negativamente sobre la CS (Raiesi, 2006). En esta región se ha perdido alrededor de un tercio del contenido de COT debido al proceso de agriculturización (Álvarez, 2005). Debido a la necesidad revertir los procesos de deterioro, conocer y mantener la CS, surgió la necesidad de certificar el proceso productivo a fin de promover las buenas prácticas agrícolas. Uno de estos esfuerzos se llevó a cabo con AAPRESID en conjunto con el proyecto BIOSPAS (Wall, 2011) en donde se evaluó la calidad física, química y biológicas de los suelos en campos particulares de producción los cuales responden o no a los criterios definidos por el Programa de Certificación de Buenas Prácticas (<http://www.aapresid.org.ar/ac/buenas-practicas-agricolas>). En este contexto, la evaluación del COT es de crucial importancia debido a sus efectos significativos sobre las propiedades física, químicas y biológicas del suelo, influyendo así en la CS (Haynes, 2005). Por lo tanto, el mantenimiento del COT es necesario para la sostenibilidad de los agroecosistemas.

El COT está compuesto de varias fracciones, que difieren en sus propiedades físico-químicas y por tanto su grado de estabilización y ciclado en el tiempo. Para estimar el efecto de las prácticas de manejo o usos del suelo sobre el COT, es crucial cuantificar y comprender la sensibilidad de las diferentes fracciones orgánicas a tal disturbio (Martin *et al.*, 1990). En el corto plazo, las fracciones orgánicas asociadas a la fracción arena muestran alteraciones resultantes de los cambios en las prácticas de manejo (von Lützwow *et al.*, 2007). Existen fracciones orgánicas lábiles como el carbono orgánico particulado (COP, entre 53-105 μm) y los carbohidratos totales (CHt) que responden más rápidamente que el COT a los cambios producidos por diferentes manejos del suelo (Duval *et al.*, 2013). Sin embargo, la tasa de recambio de estas fracciones varía continuamente (Graham *et al.*, 2002). Por lo tanto, además de los efectos causados por los diferentes usos y manejos del suelo, existen otros factores como las condiciones



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

climáticas y momento de muestreo que también pueden afectar las fracciones orgánicas más lábiles (Galantini & Rosell, 2006).

La intensificación agrícola el doble cultivo anual y la rotación de cultivos con pasturas o cultivos de cobertura, son opciones viables para aumentar la eficiencia y productividad de los sistemas agrícolas actuales (Caviglia *et al.*, 2004). Para caracterizar sistemas con diferentes intensidades en el uso del suelo, existen diversos índices que incluyen la fracción de tiempo anual con cubierta vegetal o la frecuencia de un cultivo en particular en la secuencia de cultivos (Caviglia & Andrade, 2010). En consecuencia, los pastizales naturales pueden caracterizarse por altos índices de intensificación en el uso del suelo en comparación con las secuencias con largos períodos de barbecho, basados en cultivos anuales (Sasal *et al.*, 2010). También, se han propuesto varios índices y relaciones vinculados al COT para la evaluación de la CS (Blair *et al.*, 1995). Estos índices son indicadores tempranos y eficientes de cambios en la CS dados por el sistema de producción (Bayer *et al.*, 2009), incluso antes que cambien los contenidos de COT. Entre ellos se encuentran el índice de reserva de carbono (IRC) (Blair *et al.*, 1995) y relaciones entre COT y COP o con la fracción fina del suelo (limo + arcilla) (Noellemeyer *et al.*, 2006). Estos índices pueden proporcionar un parámetro útil para evaluar la CS en diferentes sistemas de producción o bajo diferentes prácticas de manejo (Verma & Sharma, 2007).

En general, los efectos a largo plazo de las prácticas de manejo del suelo sobre la evolución de la CS han estado estrechamente relacionada con el contenido de COT (Roldán *et al.*, 2005), mientras que los efectos a corto plazo, las fracciones más lábiles del COT son más útiles para su detección (Duval *et al.*, 2013). A su vez, los cambios en el corto plazo son complejos y dependen también de las condiciones del suelo, tales como la textura del suelo, el clima, sistema de cultivo y el tipo de residuo, así como el manejo actual (Paustian *et al.*, 1997). Este trabajo tiene por objetivo cuantificar el efecto de los diferentes factores de variación (Tratamiento, Sitio y Época) sobre el COT y las diferentes fracciones que lo componen sobre dos prácticas agrícolas contrastantes y su comparación con una situación de referencia.

Materiales y Métodos

Sitios

Se seleccionaron cuatro sitios de estudio con historia documentada bajo SD (más de 5 años) ubicados en la Región Pampeana con diferentes condiciones climáticas y edáficas (Tabla 1). Los sitios de estudio se encuentran en Bengolea (Córdoba, latitud 33°01'32,9" S, longitud 63°37'36,4" W), Monte Buey (Córdoba, latitud 32°58'17,0" S, longitud 62°27'02,4" W), Pergamino (Buenos Aires, latitud 33°56'42,6" S, longitud 60°33'35,6" WO) y Viale (Entre Ríos, latitud, 31°52'42,2" S Longitud 59°41'16,2" WO).

XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Tabla 1: Características de los suelos (0-20 cm) en los diferentes sitios y tratamientos al inicio del muestreo.

Sitios	Bengolea	Monte Buey	Pergamino	Viale
TMA (°C)	17	17	16	18
PMA (mm año ⁻¹)	870	910	1000	1160
Clima	Subhúmedo templado	Subhúmedo templado	Húmedo templado	Húmedo templado
Clasificación	HaplustolEntico	Argiudol Típico	Argiudol Típico	Hapludert Típico
Arena (g kg ⁻¹)	575	191	181	27
Limo (g kg ⁻¹)	295	575	605	572
Arcilla (g kg ⁻¹)	130	234	215	401
Textura	Franco arenoso	Franco limoso	Franco limoso	Franco arcillo limosa

TMA: Temperatura media anual; PMA: Precipitación media anual.

Tratamientos

En cada uno de los sitios seleccionados se definieron tres tratamientos: "Buenas Prácticas Agrícolas" (BP), manejo agrícola sostenible bajo SD, con rotación intensiva de cultivos de invierno, trigo (*Triticum aestivum* L.) y cebada (*Hordeum vulgare*) y de verano, soja (*Glycine max* [L.] Merr.), maíz (*Zea mays* L.) o sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y, en ciertas ocasiones, incluyendo cultivos de cobertura, como vicia (*Vicia sativa* L.) y triticale (*Triticum aestivum*). La reposición de nutrientes se realiza en base a las necesidades de los cultivos, minimizando el uso de agroquímicos (herbicidas, insecticidas y fungicidas) (Tabla 2); "Malas Prácticas Agrícolas" (MP), manejo agrícola no sostenible bajo SD con mínima rotación o monocultivo de soja (*Glycine max* [L.] Merr.), mínima reposición de nutrientes y alto uso de agroquímicos (herbicidas, insecticidas y fungicidas) (Tabla 2) y "Ambiente Natural" (AN), situaciones sin uso antrópico como referencia, se seleccionaron pastizales naturales, cerca de las parcelas cultivadas (menos de 5 km), donde se hayan alcanzado los equilibrios entre las diferentes fracciones orgánicas por ello, los sectores seleccionados presentaban más de 30 años sin ningún tipo de disturbio.

XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Tabla 2: Descripción del manejo y los rendimientos de los cultivos agrícolas.

	Bengolea		Monte Buey		Pergamino		Viale	
	BP	MP	BP	MP	BP	MP	BP	MP
Años en SD	13	5	28	10	6	5	13	9
Relación soja/maíz	1,5	4	0,67	4	1,5	5	1,5	4
% inviernos con trigo	60	40	60	20	10	0	40	20
% invierno con cultivo de cobertura	20	0	40	0	0	0	20	0
Fertilización N-P (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	68-18	3-3	64-18	17-5	41-17	7-31	64-27	34-23
Rendimiento soja (kg ha ⁻¹)	3067	277 5	3167	267 5	2933	288 5	3000	1805
Rendimiento maíz (kg ha ⁻¹)	1050 0	270 0	1255 0	800 0	9500	-	7030	3450
Aporte de carbono (kg ha ⁻¹ year ⁻¹)	5608	276 5	6378	354 8	4291	248 6	4010	2845

BP: Buenas Prácticas; MP: Malas Prácticas.

Muestreo y análisis

En cada sitio, las muestras de suelo (tres repeticiones) fueron recolectadas durante dos años (2010 y 2011) en los meses de Febrero y Septiembre (factor Época) en los manejos agrícolas (BP y MP) y los ambientes naturales (AN) (factor Tratamiento). En cada situación, los tres puntos de muestreo (réplicas), representadas por tres submuestras, se localizaron mediante GPS para los muestreos subsiguientes. Se extrajeron muestras sin disturbar de 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm de profundidad mediante cilindros de acero de volumen conocido (90,5 cm³). Para la comparación entre tratamientos se consideró la profundidad de 0-20 cm, a través del promedio ponderado de los resultados de cada una de las variables obtenidas para las profundidades muestreadas. Sobre las muestras secas al aire y tamizadas por 2 mm, se determinó: carbono orgánico total del suelo (COT) por combustión seca (LECO Analizador de carbono), N total (Nt) mediante semimicroKjeldhal, (Bremner, 1996), carbohidratos totales (CHt) (Puget *et al.*, 1999), carbono orgánico particulado fino, grueso y asociado a la fracción mineral (COP_f, COP_g y COM, respectivamente) (Duval *et al.*, 2013). En este estudio, los contenidos de COT y sus fracciones en los diferentes tratamientos fueron calculados basados en masas de suelo equivalentes (Ellert & Bettany, 1995; Toledo *et al.*, 2013), utilizando una masa de suelo de 2350 Mg como tratamiento de referencia (Duval *et al.*, 2013).

Sobre las muestras sin disturbar se determinaron las siguiente propiedades físicas densidad aparente (DA) y porosidad total (PT)(Blake & Hartge, 1986), macroporos grandes (MP_g) (Kay & VandenBygaart, 2002) y textura por el método de la pipeta (Gee & Bauder, 1986).



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Teniendo en cuenta que los indicadores de calidad de suelos (químicos y físicos) más sensibles para detectar los cambios debido al manejo, también pueden ser sensibles a las variaciones meteorológicas, edáficas, topográficas y/o estacionales, puede ser mejor aplicar índices vinculados al funcionamiento del sistema (índices funcionales): el índice de reserva de carbono (IRC) se calculó según lo desarrollado por Blair *et al.* (1995):

$$C = \frac{CO_{\text{Trat}} (-2 \text{ cm})}{CO_{\text{ef}} (-2 \text{ cm})}$$

donde CO_{Trat} = carbono orgánico del suelo (total o fracción) en los tratamientos agrícolas (BP y MP) y CO_{Ref} = carbono orgánico del suelo (total o fracción) de referencia (AN). Este índice se calculó para comparar la magnitud de los cambios en las diferentes épocas de muestreo sobre las diferentes fracciones orgánicas.

Se calculó el índice de rotación (IR), en función del número de meses con cultivo en relación con el número total de meses, por ejemplo AN=12/12 (Sasal *et al.*, 2010). Información de las secuencias de cultivo se obtuvo de los registros por parte de los productores durante un período de 10 años, anterior al momento de los muestreos de suelo.

Análisis estadístico

Los efectos del uso del suelo (AN, BP y MP), los sitios (Bengolea, Monte Buey, Pergamino y Viale) y la época de muestreo (verano y primavera) sobre las variables determinadas, fueron evaluados mediante ANOVA, utilizando un diseño de bloques (réplicas) completos al azar. Se utilizaron diferencias mínimas significativas (DMS) para detectar diferencias entre las medias. En el caso de no hallar interacción entre factores, los sitios de muestreo fueron tratados como replicas (efectos aleatorios) y los diferentes usos del suelo como los tratamientos (efectos fijos). Se realizó análisis de componentes principales (ACP) para resumir las características químicas, físicas e índices asociados de los suelos estudiados y para interpretar las asociaciones entre las variables edáficas. Todos los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de significación de $p < 0,05$ mediante software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013).

Resultados y Discusión

El análisis de los resultados sobre los tres factores de variación mostró efectos significativos, principalmente por los sitios y tratamientos. Si consideramos la fuente de variación temporal (Época), los CHt fue la única fracción orgánica que presentó efectos significativos por esta variable (Tabla 3). En todas las fracciones orgánicas se observó interacción significativa entre los sitios y tratamientos, por lo tanto, todos los resultados se evaluaron en cada sitio individualmente.

XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

En el caso del COT y del COM, no se encontró un efecto diferencial de los Tratamientos por Época de muestreo (interacción no significativa), por lo tanto estas fracciones se analizaron en conjunto (promedio de fechas). En promedio, para las cuatro fechas de muestreo, en todos los sitios, los contenidos de COT mostraron diferencias estadísticamente significativas entre AN y MP, donde los suelos bajo AN presentaron entre 7 y 24 Mg más de COT en 2350 Mg de suelo (Tabla 4). Diferencias significativas también fueron evidentes entre AN y BP únicamente para Pergamino y Monte Buey con 14 y 19 Mg más de COT en AN, respectivamente (Tabla 4). Entre tratamientos agrícolas, los contenidos de COT fueron menores en MP que en BP ($p < 0,05$), en tres de los cuatro sitios (Tabla 4). La variabilidad temporal a corto plazo del COT fue baja (CV 3-10%) en general, los contenidos de COT permanecieron casi constantes entre épocas de muestreo. El COM, al igual que el COT, presentó diferencias entre AN y MP en Monte Buey y Pergamino, sin diferencias en Bengolea y Viale, mientras que BP presentó mayor contenido de COM en Viale, menor en Monte Buey y Pergamino y sin diferencias significativas en Bengolea (Tabla 4). La variabilidad temporal del COM fue similar a la del COT (CV 4-16%), por lo tanto contenidos de COM permanecen casi constante entre épocas (Tabla 4).

Tabla 3: Efecto de los tratamientos, sitios y momento de muestreo sobre los contenidos de COT y sus fracciones en 2350 Mg de suelo.

Factor de variación	Fracciones orgánicas				
	COT	COM	COP _g	COP _f	CHt
Tratamiento	***	***	***	***	***
Sitio	***	***	***	***	***
Época	ns	ns	ns	ns	***
Sitio*Tratamiento	***	***	*	*	*
Sitio*Época	ns	ns	**	ns	ns
Tratamiento*Época	ns	ns	**	ns	ns
Sitio*Tratamiento*Época	ns	ns	ns	*	ns

(***), (**), (*) y ns indican efectos significativos al 0,05; 0,01; 0,001 y no significativo, respectivamente.

La comparación de los cambios del uso del suelo, mediante el índice de reserva de carbono (IRC), reflejó que los niveles de COT en los tratamientos agrícolas se encontraron por debajo de AN (IRC=100), donde MP presentó contenidos de COT entre 60 y 80% del determinado en AN para todos los sitios, mientras que en BP fueron del 70% en Monte Buey y Pergamino, encontrándose valores similares o superiores al AN en Bengolea y Viale (Figura 1a). El IRC para el COM, al igual que en el COT, presentó disminuciones en MP, pero menos marcadas, y en BP únicamente se observaron contenidos inferiores a AN en Monte Buey y Pergamino (Figura 1b). Para el COT, se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) en el IRC entre BP y MP en Bengolea, Monte Buey y Viale, sin diferencias significativas en Pergamino (Figura 1a).

XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

En el caso del COM solo se observaron diferencias significativas entre tratamientos en Viale (Figura 1b). La extensa historia agrícola en los suelos estudiados causó efectos significativos sobre los contenidos de COT y en menor medida sobre el COM. Los efectos más notorios del uso agrícola se observaron en Monte Buey y Pergamino, con contenidos entre 60-70% y 70-80% del determinado en AN para COT y COM, respectivamente, mientras que en Bengolea y Viale los efectos fueron menos marcados. Varios estudios realizados en diferentes partes del mundo, informaron que la SD junto con la intensificación de cultivos son dos herramientas eficaces para aumentar el COT (Sá *et al.*, 2001; Johnson *et al.*, 2005). Coincidentemente con los estudios mencionados, las diferencias entre BP y MP responden a diferentes entradas de C a través de la producción primaria (mayor en BP, que presenta mayor frecuencia de maíz e índice de rotación) (Tabla 2), aumento de las salidas de C por descomposición (mayor en MP, que presenta menor índice de rotación y por ende mayor período de barbecho) y/o los cambios combinados en las entradas y salidas de C (Tabla 2).

Tabla 4: Contenidos de carbono orgánico total (COT) y carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COM) promedio en 2350 Mg de suelo.

Fracciones orgánicas (Mg 2350 Mg ⁻¹ suelo ⁻¹)	Tratamientos		
	AN	BP	MP
	Bengolea		
COT	32 b (4,3)	30 b (9,7)	25 a (5,4)
COM	18 a (12,4)	19 a (16,0)	17 a (7,8)
	Monte Buey		
COT	61 c (9,4)	42 b (9,8)	37 a (7,7)
COM	46 b (14,5)	33 a (12,3)	30 a (7,8)
	Pergamino		
COT	50 b (3,0)	36 a (5,2)	34 a (13,5)
COM	37 b (8,9)	29 a (6,0)	28 a (14,8)
	Viale		
COT	63 b (7,4)	71 b (5,3)	50 a (6,6)
COM	51 a (11,2)	60 b (4,2)	44 a (8,9)

En cada sitio letras diferentes para cada parámetro analizado indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Los números entre paréntesis indican el coeficiente de variación (CV%) de cada parámetro durante los dos años.

XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

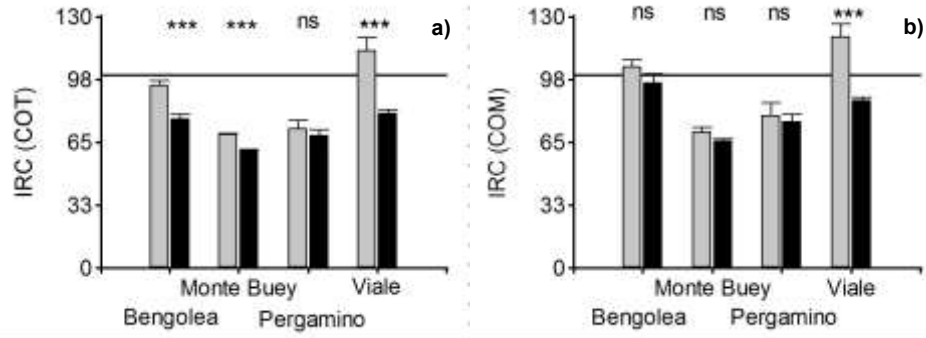


Figura 1: Comparación de los efectos de los tratamientos agrícolas a través del índice de reserva de carbono (IRC) para carbono orgánico total (COT) (a) y carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COM) (b) en 2350 Mg de suelo.

Las barras representan los errores estándar. Para cada sitio, (***) (**), (*) y ns indican diferencias significativas ($p < 0,001$), ($p < 0,01$), ($p < 0,05$) y no significativas, respectivamente entre tratamientos. Buenas prácticas (gris); Malas prácticas (negro).

Fracciones orgánicas

En Bengolea se observaron efectos significativos de los Tratamientos y Época de muestreo sobre el COP_g , mientras que únicamente se observó efecto de los Tratamientos sobre el COP_f . El COP_g presentó diferencias significativas tanto entre usos del suelo (AN vs manejos agrícolas) como entre manejos (BP vs MP) en verano, mientras en primavera desaparecen las diferencias entre AN y BP (Tabla 5). La variabilidad del COP_g a lo largo de los dos años en Bengolea fue mayor en los tratamientos agrícolas (CV 26 y 20%, para MP y BP, respectivamente) que en AN (CV 16%) y más elevada que en el COT. Esta mayor variabilidad en los tratamientos agrícolas, responde a la distintas cantidades y diversidad de residuos (distinto C:N) que se incorporan al suelo. El COP_f , al igual que el COP_g , presentó diferencias significativas entre manejos agrícolas sin diferencias entre AN y BP (Tabla 5). El COP_f presentó menor variación temporal que el COP_g a lo largo de los dos años, con CV de 13, 11 y 10% para AN, BP y MP, respectivamente. La reserva de carbono de la fracción $>105 \mu m$ fue la más afectada por las prácticas agrícolas, en relación al COT y COM, con valores por debajo del 40% en MP en ambas épocas y valores del 50 al 80% en BP para verano y primavera, respectivamente, hallando diferencias significativas entre BP y MP en ambas épocas (Tabla 5). El COP_f presentó, en promedio, valores de IRC de 95 y 66% para BP y MP, respectivamente (Tabla 5).

En Monte Buey se observaron efectos significativos de los tratamientos tanto en COP_g como en COP_f , mientras que la época no evidenció cambios en ambas fracciones. El COP_g diferenció entre AN y manejos agrícolas, no hallando diferencias entre BP y MP en ambas épocas de muestreo (Tabla 5). En este sitio, COP_g también presentó alta variabilidad temporal para todos los tratamientos (CV 44, 34 y 22% para AN, BP y MP). El COP_f presentó el mismo comportamiento que el COP_g en el verano, mientras que en



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

primavera, esta fracción permitió diferenciar entre prácticas agrícolas (Tabla 5). En este caso, BP (6,8 Mg) presentó un 59% más de COP_f en relación a MP (4,0 Mg). Al igual que Bengolea, el COP_f permitió discriminar entre tratamientos agrícolas (BP>MP) donde, a su vez, BP alcanza los niveles de AN (BP=AN). La variabilidad temporal de esta fracción fue mayor en BP (CV 34%) que en AN (CV 25%) y MP (CV 11%). Los valores de IRC para COP_g en Monte Buey fueron 50% y 34% en BP y MP, respectivamente, encontrando diferencias significativas entre BP y MP únicamente en primavera (Tabla 5). En este caso, el COP_g en los tratamientos agrícolas, representó alrededor de la mitad (2,7 Mg) de los niveles medidos en AN (5,5 Mg). El IRC del COP_f presentó diferencias significativas entre BP y MP tanto en verano como en primavera (Tabla 5).

En Pergamino, el COP_g y COP_f mostraron resultados similares que los hallados para COT y COM (AN>BP=MP), sin diferencias entre épocas de muestreo. Únicamente se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre AN y los tratamientos agrícolas en COP_g para ambas épocas. Los contenidos de COP_g en los tratamientos agrícolas disminuyeron 2,8 Mg en relación con AN (Tabla 5). Los contenidos de COP_f presentaron las mismas diferencias que el COP_g pero, aunque no significativo, los contenidos de COP_f aparecieron en el orden AN<BP<MP en 2350 Mg de suelo (Tabla 5). Esas tendencias observadas en el COP_f , se convirtieron en significativas cuando se analizaron los tratamientos agrícolas mediante el IRC (Tabla 5). Las fluctuaciones temporales para COP_g y COP_f , al igual que en los sitios anteriores, fueron mayores que en COT y COM, presentando a su vez variaciones entre tratamientos. No se observaron diferencias significativas en el IRC para el COP_g , donde los manejos agrícolas presentaron un 50% menos de COP_g independientemente del tratamiento y época de muestreo (Tabla 5). Mientras que para el COP_f , como fue mencionado anteriormente, el IRC reflejó diferencias significativas entre prácticas agrícolas en primavera donde BP presentó alrededor del 60% del COP_f de AN, mientras que MP no superó el 50% (Tabla 5).

En Viale se observaron diferencias significativas en los niveles de COP_g entre AN y MP, mientras que no se observaron diferencias entre tratamientos agrícolas (Tabla 5). Al igual que en Pergamino, no se encontró diferencias entre épocas de muestreo tanto para COP_g como para COP_f . Sin embargo, esta última fracción reflejó diferencias entre BP y MP en verano. La variabilidad temporal en este sitio fue mayor para los manejos agrícolas, BP (CV 53-49%), MP (CV 29-42%), que en AN (CV 26-32%) para COP_g y COP_f , respectivamente. Diferencias en el IRC entre tratamientos agrícolas únicamente se observaron para COP_f , donde BP presentó contenidos similares a AN (IRC=85-100%).

Las disminuciones del COT a causa de las prácticas agrícolas fueron, principalmente, a partir de la fracción gruesa (>105 μ m) en la capa superficial del suelo. En general, el

XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

COP_g, representado por el IRC, presentó entre 34-52% y 50-74% de los contenidos naturales en MP y BP, respectivamente. Con frecuencia, cambios en el uso del suelo afectan principalmente al carbono de la fracción arena, que incluye el C lábil (Tiessen & Stewart, 1983). Duval *et al.* (2014) trabajando en sistemas de rotaciones y monocultivos sobre un Argiudol Típico, determinaron que las disminuciones del COP_g al efecto antrópico fue mayor en relación a las demás fracciones orgánicas con disminuciones de hasta el 50% del COP_g sin observarse cambios en el COT, poniendo en evidencia la alta susceptibilidad del COP_g a degradarse.

Tabla 5: Contenidos de carbono orgánico particulado grueso y fino (COP_g y COP_f) y carbohidratos totales (CHT) y sus índices de reserva.

Sitio	Época	Tratamiento	Indicador			Índice de reserva de carbono		
			COP _g	COP _f	CHT	COP _g	COP _f	CHT
Bengolea	Verano	AN	6,70 c	8,55 b	7,58 a	100	100	100
		BP	3,61 b	7,92 b	6,57 a	54 b	93 b	84 a
		MP	2,30 a	5,12 a	6,19 a	34 a	60 a	81 a
	Primavera	AN	5,48 b	7,25 b	6,76 c	100	100	100
		BP	4,63 b	7,03 b	5,65 b	84 b	97 b	83 b
		MP	2,29 a	5,27 a	4,86 a	41 a	73 a	72 a
Monte Buey	Verano	AN	9,47 b	8,31 b	10,68 b	100	100	100
		BP	3,77 a	5,12 a	8,29 ab	39 a	62 b	78 b
		MP	2,65 a	4,19 a	6,71 a	29 a	50 a	64 a
	Primavera	AN	5,45 b	6,10 b	10,29 b	100	100	100
		BP	3,30 a	6,81 b	8,31 ab	60 b	121 b	82 b
		MP	2,14 a	3,98 a	6,69 a	39 a	67 a	66 a
Pergamino	Verano	AN	5,52 b	6,66 b	11,59 c	100	100	100
		BP	2,65 a	4,77 a	7,87 b	57 a	74 a	72 b
		MP	2,55 a	3,79 a	4,17 a	57 a	60 a	41 a
	Primavera	AN	5,06 b	8,01 b	8,52 c	100	100	100
		BP	2,36 a	4,60 a	6,20 b	47 a	58 a	73 a
		MP	2,28 a	4,05 a	5,34 a	45 a	51 a	63 a
Viale	Verano	AN	6,70 b	5,58 b	11,13 a	100	100	100
		BP	4,38 ab	4,83 b	10,47 a	64 a	85 b	92 b
		MP	3,12 a	2,89 a	8,78 a	48 a	51 a	78 a
	Primavera	AN	6,98 b	5,04 a	8,43 a	100	100	100
		BP	5,81 ab	5,25 a	9,55 a	84 a	97 b	115 a
		MP	3,91 a	3,39 a	6,61 a	56 a	65 a	89 a

Letras diferentes para cada época entre tratamientos indican diferencias significativas (p < 0,05).



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Los CHT, en general, mostraron mayores diferencias entre tratamientos en los muestreos de primavera. En esa época, se observaron diferencias significativas entre AN y MP para los sitios de Bengolea, Monte Buey y Pergamino, donde el contenido de CHT fue entre 28-38% menor en MP (Tabla 5). A su vez, también se observaron las mayores diferencias entre tratamientos agrícolas (BP vs MP), encontrándose diferencias significativas en Bengolea y Pergamino (BP>MP), sin diferencias en Monte Buey y Viale (Tabla 5). La variabilidad de los CHT a lo largo de los dos años fue más elevada que la del COT. En general, se observó mayor variabilidad en AN (CV 26-35%) que en los tratamientos agrícolas (CV 19-29%), posiblemente debido a la mayor diversidad de residuos vegetales que se incorporan al suelo (Hevia *et al.*, 2008). En Bengolea se observó lo contrario, con mayor variabilidad los tratamientos agrícolas (CV 31%) que AN (CV 24%). En este caso, AN presentó a *Cynodon dactylon* como especie dominante, por lo cual la variedad de aportes de residuos fue menor que en los tratamientos agrícolas. El impacto de las prácticas agrícolas sobre la calidad del suelo, mediante el IRC para CHT, presentó diferencias significativas entre BP y MP, sin encontrar fluctuaciones entre épocas primavera-verano (Tabla 5). En BP, el IRC para CHT fue mayor, presentando entre 72 a 80% de los niveles observados en AN, en Monte Buey y Pergamino, mientras que en MP los valores fueron significativamente menores (52 a 65%). En Bengolea, el IRC fue 83-84% y 72-81% para BP y MP, respectivamente, mientras que en Viale se observaron valores superiores a AN en BP (92-115%) y significativamente menores en MP (78-89%).

Desde el punto de vista para la máxima diferencia o sensibilidad entre tratamientos, para la mayoría de las fracciones orgánicas estudiadas, la temporada de primavera parece ser el mejor momento para el muestreo del suelo. El IRC muestra que los tratamientos agrícolas indujeron mayores variaciones en todas las fracciones orgánicas lábiles (COP_g, COP_f y CHT) en comparación con COT y COM. Independientemente del tipo suelo, el IRC fue un indicador sensible de CS en estos sistemas bajo SD. Otros estudios también han demostrado cambios en los contenidos orgánicos lábiles por un cambio en las prácticas de manejo (Cambardella & Elliott 1992; Banger *et al.*, 2010). Para los suelos de este estudio, el COP_f fue la fracción más sensible entre diferentes usos (AN vs prácticas agrícolas) y prácticas de manejo (BP vs MP).

Análisis de componentes principales de propiedades edáficas y de manejo

Para sintetizar los resultados y ayudar a comprender los efectos de diferentes tratamientos, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) de algunas propiedades física (DA, PT, MP_g), químicas, principalmente asociadas al COT y sus fracciones (Nt, COP_f, COM, y CHT) e índices asociados a las propiedades del suelo (C:N, COP_{g+f}/COT, COT/arcilla, índice de estabilidad estructural) y al manejo (IR) para la capa superficial del suelos (0-20 cm) (Figura 3). Los dos primeros ejes (CP1 y CP2) del ACP representaron el 71% de variabilidad total aportada por los parámetros estudiados. El CP1 explicó 44% de la varianza donde las fracciones orgánica del COT (COP_f y CHT),

XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

la capacidad de aireación (MP_g) y los índices (IR, IEE) fueron asociados positivamente y contrarrestados por DA. Esta primer CP separa, principalmente, los distintos tratamientos (AN, BP y MP). Es decir, aparecen las propiedades edáficas más asociadas al uso del suelo, donde la calidad del suelo mejoró cuando el suelo permaneció más tiempo con vegetación natural o cultivada (mayor IR) generando un mayor aporte de residuos al suelo con el consecuente aumento de las diferentes fracciones orgánicas lábiles (COP_f y CHt), aumentando el almacenamiento de C (mayor IEE) afectando positiva y negativamente las propiedades físicas como los MP_g y la DA, respectivamente. La segunda CP explicó el 27% de la varianza, donde PT, COM y C:N presentaron asociaciones positivas en dicha componente, mientras que DA, COT/arcilla y $COP_{g+f}:COT$ se asociaron negativamente. Esta segunda CP permitió diferenciar los distintos sitios (Viale, Monte Buey-Pergamino, Bengolea). Estas diferencias entre sitios (CP2) se fundamentan en que las variables que presentaron valores más altos de variabilidad en dicha componente, fueron aquellas relacionadas con las características propias de cada sitio. Es decir, en la parte superior los suelos se caracterizan por presentar C:N, PT y COM altos, característicos de suelos con mayor contenido de arcillas (mayor protección) y elevadas precipitaciones (mayores aportes) como es Viale, mientras que, en la parte inferior los suelos presentan mayor $COP:COT$, COT/arcilla y DA, asociado principalmente a suelos de texturas más gruesas y menores precipitaciones (Bengolea), presentando Monte Buey y Pergamino características intermedias (Figura 3). A su vez, también se puede deducir de la Figura 3, que BP y MP se encuentran más alejados de AN en aquellos sitios de texturas francas (Monte Buey y Pergamino) en relación a aquellos sitios de texturas contrastantes (Bengolea y Viale) donde la separación entre AN, MP y BP es gradual.

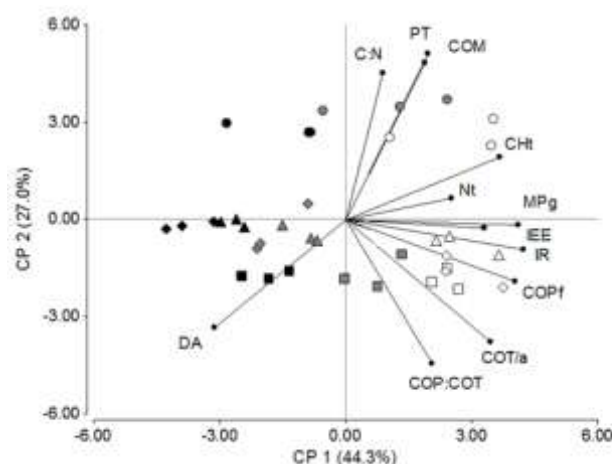


Figura 3: Biplot de componentes principales de los atributos del suelo y de cultivo para Buenas Prácticas Agrícolas (BP) (gris); Malas Prácticas Agrícolas (MP) (negro) y Ambiente Natural (AN) (blanco) para Bengolea (cuadrados), Monte Buey (triángulos), Pergamino (rombos) y Viale (círculos).



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Carbono orgánico asociado a la fracción mineral (COM); Nitrógeno total (Nt); Carbohidratos totales (CHt); Índice de rotación (IR); Índice de estabilidad estructural (IEE); Macroporos grandes ($>30\ \mu\text{m}$) (MPg); Carbono orgánico particulado fino (COP_f); Frecuencia soja (FS); Densidad aparente (DA); Proporción de COP (COP_{g+f}) en relación al carbono orgánico total (COP:COT).

El análisis multivariado ha demostrado ser una metodología de análisis eficaz para la identificación de las propiedades del suelo que responden a las prácticas agronómicas y ofrecen una alternativa clara para el análisis univariado de las relaciones para evaluar los cambios en la calidad del suelo (Monreal & Bergstrom, 2000). Además, dicho análisis demostró ser útil para reducir el número de variables a considerar en la evaluación de la calidad de los suelos. Los resultados de este análisis mostraron que, para diferenciar tratamientos, las propiedades químicas (COP_f y CHt), físicas (DA y MP_g), e índices (COT/arcilla, IEE e IR), fueron las variables que mejor explica la varianza total del conjunto de datos en los cuatro sitios. Estos indicadores/índices, por lo tanto, deben ser incluidos en cualquier conjunto mínimo de datos utilizados para la evaluación de la calidad de suelos agrícolas bajo SD en la zona de estudio.

Conclusiones

La sensibilidad o las variaciones temporales de las diferentes fracciones orgánicas del COT (COP_g, COP_f y CHt) fueron mucho mayores que las del COT en los diferentes tratamientos. A su vez la magnitud de la variabilidad fue diferente entre las fracciones, donde las fluctuaciones temporales aumentaron en el siguiente orden COP_g > CHt ≥ COP_f > COT > COM. El COP_f, a través del IRC, fue la fracción orgánica más sensible para la diferenciación de prácticas agrícolas, siendo primavera la época de mayores diferencias.

Mediante técnicas de análisis multivariado fue posible discriminar entre variables sensibles a las prácticas de manejo de aquellas variables que caracterizan a cada sitio en particular. Dentro del grupo de variables evaluadas en este trabajo, propiedades químicas (COP_f y CHt), físicas (DA y MP_g), e índices (COT/arcilla, IEE e IR), fueron las que mejor reflejaron las diferencias entre tratamientos para los cuatro sitios. Estos indicadores/índices, por lo tanto, deben ser incluidos en cualquier conjunto mínimo de datos utilizados para evaluar la calidad de suelos agrícolas bajo SD en la zona de estudio.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero otorgado por el Ministerio argentino de Ciencia, Tecnología e Innovación (Grant FONCyT PAE-36976-PID53). Los autores



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

desean agradecer a las siguientes instituciones que proporcionaron infraestructura y equipos para esta investigación: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona semiárida (CERZOS) y Departamento de Agronomía.

Bibliografía

Álvarez, R. 2005. Carbon stocks in Pampean soils: a simple regression model for estimation of carbon storage under non degraded scenarios. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36, 1583–1589.

Banger, K; GS Toor; ABiswas; SS Sidhu & K Sudhir. 2010. Soil organic carbon fractions after 16-years of applications of fertilizers and organic manure in a Typic Rhodalfs in semiarid tropics. *Nutr.Cycl. Agroecosys* 86, 391–399.

Bayer, C; J Diekow; TJC Amado; FLF Eltz & FCB Vieira. 2009. Cover Crop Effects Increasing carbon storage in a subtropical no-till sandy Acrisol. *Commun. Soil Sci. Plant* 40, 1499–1511.

Blair, GJ; RDB Lefroy.& L Lisle. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index, for agricultural systems. *Aust. J. Agric. Res.* 46: 1459–1466.

Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk Density p.: 363-375. In: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed.* Agron.Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

Bremner, JM. 1996. Nitrogen - Total. In: Sparks, DL. (Ed), *Methods of soil analysis. Part 3 – Chemical Methods. Chapter 37.* ASA, SSSA, CSSA, Madison WI, pp. 1085-1121.

Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 777-783.

Caviglia, OP & FH Andrade. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the argentinean pampas: capture and use efficiency of environmental resources. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology* 3, 1–8.

Caviglia, OP; VO Sadras & FH Andrade. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double cropped wheat–soybean. *Field Crops Research.* 87, 117–129.

Danielson, RE & PL Sutherland. 1986. Porosity. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1, 2nd Edition.* Agronomy 9, pp. 443-461.



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Di Rienzo, JÁ; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2013. InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Duval, M; E de Sa Pereira; JO Iglesias & JA Galantini. 2014. Efecto de uso y manejo del suelo sobre las fracciones de carbono orgánico en un Argiudol. *Ci. Suelo*. 32(1), 105-115.

Duval, ME; JA Galantini; JO Iglesias; S Canelo; JM Martinez & L Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Till. Res.* 131: 11-19.

ECAF (European Conservation Agricultural Federation). 1999. Conservation Agriculture in Europe: Environmental, Economic and EU Policy Perspectives. ECAF, Brussels, 23 pp.

Ellert, BH & JR Bettany. 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Can. J. Soil Sci.* 75, 529–538.

Galantini, JA & RA Rosell. 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.

Gee GW & JW Bauder. 1986. Particle -size Analysis. *Methods of soil analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods*. II Ed. A.M.S.A. Inc., S.S.S.A. Inc. Madison, Wi. USA.

Graham, MH; RJ Haynes & JH Meyer. 2002. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *Soil Biol. Biochem.* 34, 93-102.

Haynes, R. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An overview. *Adv. in Agron.* 85, 221-268.

Hevia, GG; DE Buschiazzi & M Díaz Raviña. 2008. Variación estacional de compuestos orgánicos del suelo en diferentes sistemas de labranza. En: Galantini, J et al. (Eds.), *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Pp. 147-170. Editorial Universidad Nacional del Sur.

Johnson, JMF; DC Reicosky; RR Allmaras; TJ Sauer; RT Venterea & CJ Dell. 2005. Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agriculture in the central USA. *Soil Till. Res.* 83, 73–94.



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Kay, BD & AJ VandenBygaart. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil Till. Res.* 66, 107–118.

Lal, R; WH Blum; C Valentine & BA Stewart. 1998. Methods for assessment of soil degradation. In: *Advances in Soil Science*, Lewis Publishers, Boca Raton, p. 558.

Martin, A; A Mariotti; J Balesdent; P Lavelle & R Vuattoux. 1990. Estimate of organic matter turnover rate in a savanna soil by C-13 natural abundance measurements. *Soil Biol. Biochem.* 22(4), 517–523.

Monreal, CM & DW Bergstrom. 2000. Soil enzymatic factors expressing the influence of land use, tillage system and texture on soil biochemical quality. *Can. J. SoilSci.* 80, 419–428.

Noellemeyer, E; AR Quiroga & D Estelrich. 2006. Soil quality in three range soils of the semi-arid Pampa of Argentina. *J. Arid Environ.* 65, 142-155.

Paustian, K., Collins, H.P., Paul, E.A., 1997. Management controls on soil carbon. In: Paul, E.A., Paustian, K., Elliott, E.A., Cole, C.V. (Eds.), *Soil Organic Matter in Temperate Ecosystems: Long Term Experiments in North America*. CRC Press, Boca Rotan, FL, pp. 15–49.

Puget, P; DA Angers & C Chenu. 1999. Nature of carbohydrates associated with water-stable aggregates of two cultivated soils. *Soil Biol. Biochem.* 31, 55–63.

Raiesi, F. 2006. Carbon and N mineralization as affected by soil cultivation and crop residue in a calcareous wetland ecosystem in Central Iran. *Agric. Ecosyst. Environ.* 112, 13-20.

Roldán, A., Salinas-García, J.R., Alguacil, M.M., Caravaca, F., 2005. Changes in soil enzyme activity, fertility, aggregation and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field. *Appl. Soil Ecol.* 30, 11–20.

Sá, JCDM; CC Cerri; WA Dick; R Lal; SPV Filho; MC Piccolo & BE Feigl. 2001. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 1486–1499.

Sasal, MC; MG Castiglioni & MG Wilson. 2010. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural-rainfall erosion plots under no tillage. *Soil Till. Res.* 108, 24–29.



XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

“Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”

Río Cuarto, 27 de Junio - 01 de Julio de 2016

Tiessen, H & JWB Stewart. 1983. Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter: II. Cultivation effects on organic matter composition in size fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47, 509–514.

Verma, S & PK Sharma. 2007. Effect of long-term manuring and fertilizer on carbon pools, soil structure, and sustainability under different cropping systems in wet-temperate zone of northwest Himalayas. *Biol. Fertil. Soils* 19, 235–240.

von Lützow, M; I Kögel-Knabner; K Ekschmitt; H Flessa; G Guggenberger; E Matzner & B Marschner. 2007. SOM fractionation methods: relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. *Soil Biol. Biochem.* 39, 2183–2207.

Wall, LG. 2011. The BIOSPAS Consortium: Soil Biology and Agricultural Production. In: de Bruijn, FJ (Ed.), *Handbook of Molecular Microbial Ecology I*, (Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.), pp. 299–306.

Toledo, DM; J Galantini; H Dalurzo; S Vazquez & G Bollero. 2013. Methods for assessing the effects of land use changes on carbon stocks of subtropical Oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77(5), 1542-1552.