



C4P106. CULTIVOS DE SERVICIOS: ¿CÓMO AFECTAN LA DINÁMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO?

Pinto, Priscila^{1*}; Sawchik, Jorge²; Terra, José²; Ayala, Walter²; Silva, Leonardo²; Barrios, Ethel² y Gervasio Piñeiro¹

¹IFEVA-FAUBA-CONICET, Argentina; ²INIA, Uruguay *ppinto@agro.uba.ar

RESUMEN

Los cultivos de servicios (CS) pueden aumentar la materia orgánica del suelo (MOS) que presentan los agroecosistemas actuales. Nuestro objetivo fue evaluar si los cambios que ocurren en la MOS se deben a un aumento en la formación de C_{nuevo} por humificación; o a una disminución en la descomposición del C_{viejo} (formado previo al experimento). A su vez, estos cambios fueron estudiados en la MOS particulada (C-MOP) y en la asociada a los minerales (C-MOAM). Instalamos un experimento en el este de Uruguay (INIA-33) que consistió en 5 rotaciones de soja con diferentes CS de gramíneas, leguminosas o crucíferas y un testigo de monocultivo de soja y tomamos muestras de suelo hasta 15cm de profundidad en el momento inicial y final. Las muestras se fraccionaron en MOP y MOAM y mediante técnicas isotópicas de ^{13}C diferenciamos el C_{nuevo} y C_{viejo} en cada fracción. El contenido de C-MOP del tratamiento testigo (2,74 TnC/ha) fue menor que en las rotaciones con CS, pero en ninguna se alcanzó el C-MOP que presentaba el campo natural (5,34 TnC/ha). Los menores contenidos de C-MOP estuvieron provocados por el aumento en la descomposición del C_{viejo} , mientras que todas las rotaciones formaron la misma cantidad de C_{nuevo} . El testigo también presentó los menores contenidos de C-MOAM (27,17 TnC/ha). Todos los CS tendieron a aumentar el C-MOAM y las leguminosas alcanzaron los niveles que presentaba el campo natural (30,98 y 32,68 TnC/ha, respectivamente) debido a una menor descomposición y a que formaron más MOAM a partir de la MOP que el resto de las rotaciones. Entre los CS evaluados, avena, raigrás y vicia presentaron los mayores contenidos de C-MOP y, vicia y trébol alejandrino los mayores contenidos de C-MOAM. Esto sugiere que para aumentar ambas fracciones deberíamos aportar, en simultáneo, biomasa con calidades diferentes mediante mezclas de CS de leguminosas y gramíneas.

Palabras clave: Cultivos de cobertura, Dilución isotópica, Fracciones de la materia orgánica

INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores desafíos para sostener la producción agrícola en el largo plazo es diseñar agroecosistemas que permitan mantener la materia orgánica del suelo (MOS). Generalmente se propone que la siembra de cultivos de servicios o de cobertura podría contribuir a aumentar los contenidos de MOS porque aumentan los aportes de biomasa al suelo. Sin embargo, tras la inclusión de estos cultivos no siempre se observan aumentos en la MOS (Alvarez, Steinbach & De Paepe, 2017; Poeplau & Don, 2015). Probablemente la ausencia de efectos consistentes de los cultivos de servicios sobre la MOS se deba a que cuando se comparan los contenidos totales de MOS es muy difícil detectar los cambios que ocurren en el corto plazo porque es un compartimento muy grande y heterogéneo. Sin embargo, mediante el método de dilución isotópica, es posible detectar los cambios que ocurren en distintas fracciones de la MOS en el corto plazo y estimar cómo son los flujos de entradas y de salidas en cada una (Piñeiro *et al.*, 2012).

La MOS puede separarse en dos fracciones en función del tamaño de partícula, las cuales se distinguen en su estructura, funcionamiento y tiempo de residencia del C en el suelo: materia orgánica particulada (MOP > 50 μm) y materia orgánica asociada a los minerales (MOAM < 50 μm) (Cambardella & Elliot 1992). La MOP está compuesta por restos vegetales y presenta una bioquímica muy similar a la broza, ya que únicamente las diferencia el tamaño de partícula (broza > 2 mm > MOP). Por lo tanto, al igual que en la broza, la descomposición de la MOP se encuentra limitada por la presencia de compuestos recalcitrantes (i.e. altos contenidos de lignina y relación C/N) y puede ser estimulada por el aumento en el N disponible (Knorr, Frey & Curtis 2005). En cambio, la MOAM está compuesta por productos derivados de los microorganismos que presentan bajo peso molecular y relación C/N. Estos compuestos presentan una protección física a la descomposición porque se encuentran adsorbidos a las arcillas y limos, ocluidos dentro de los agregados o asociados a metales del suelo y por lo tanto los microorganismos requieren mucha energía para descomponerlos (Fontaine, Mariotti, & Abbadie 2003; Kuzyakov, Friedel, & Stahr 2000).

El método de dilución isotópica permite estimar los flujos de entradas, dados por la humificación de los aportes de biomasa, y de salidas, dados por la descomposición de la MOS. Este método se basa en que la relación $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$)



que presenta la MOS depende de la vegetación que le dio origen y en que las plantas con metabolismo fotosintético C_3 y C_4 presentan distinta $\delta^{13}C$. De este modo, cuando un campo natural con presencia de especies C_4 es transformado en un campo de cultivos en donde sólo se siembran especies C_3 , es posible distinguir el C_{viejo} , que estaba presente en el campo natural, del C_{nuevo} que fue formado a partir de los cultivos C_3 (Desjardins *et al.* 1994). Esto permite estimar el porcentaje de descomposición, a partir de la diferencia entre el C_{viejo} y el contenido de C en el momento inicial, y el porcentaje de humificación considerando la proporción de los aportes de C de los cultivos que forman C_{nuevo} .

Las características de los cultivos de servicios que influyen en la descomposición y en la humificación del C de cada fracción de la MOS son muy diferentes. Los aportes de biomasa que más contribuyen a la formación de C en la MOP (C-MOP) son los que presentan un mayor tiempo de residencia en esta fracción debido a su difícil descomposición (Melillo *et al.*, 1982; Taylor *et al.*, 1989; Enriquez & Duarte 1993). Por esta razón, los aportes de las gramíneas, que son más recalcitrantes que los de las leguminosas por su alta C/N y contenido de lignina, podrían tener una mayor humificación en la MOP. A su vez, las leguminosas, además de presentar una menor humificación, podrían acelerar la descomposición de la MOP_{vieja} de manera similar a lo que sucede con la descomposición de la broza (efecto *priming* por nitrógeno) (Knorr, Frey, & Curtis 2005). En cambio, en la MOAM la humificación aumenta cuando los aportes presentan una estequiometría similar a la de los microorganismos descomponedores (baja C/N), ya que los nutrientes limitantes condicionan la formación de MOAM_{nueva} (Cotrufo *et al.* 2013; Kirkby *et al.* 2013). Por ello, las leguminosas que presentan una menor C/N podrían presentar mayor humificación del C en la MOAM (C-MOAM) que las gramíneas. Además, los aportes con una alta relación C/N que presentan las gramíneas pueden estimular la descomposición de la C-MOAM_{viejo} debido a que ocurre un efecto de *priming* por energía. En ambas fracciones para que el efecto de incluir cultivos de servicios sea positivo, las entradas por humificación deben ser mayores a las pérdidas por descomposición. Por ello, el objetivo de este trabajo fue estimar el efecto de diferentes cultivos de servicios sobre dichos flujos en las fracciones MOP y MOAM.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del experimento

El experimento fue instalado sobre un campo natural ubicado en la Unidad Experimental Palo a Pique de INIA Treinta y Tres, Uruguay (33,25° de latitud sur, 54,48° de longitud oeste, 47,0 m de altitud sobre el nivel del mar). El suelo dominante en el área de estudio es un Argisol Subéutrico Lúvico y pertenece a la Unidad de Suelo José Pedro Varela. Previo a la instalación del experimento el suelo presentaba 8ppm de P (método de ácido cítrico), 10ppm de N-NO₃, 1,9 meq de Mg 100g⁻¹ y 0,3 meq de K 100g⁻¹. En septiembre del 2011 se aplicó glifosato sobre el campo natural y se sembró el cultivo de soja mediante un laboreo reducido. En abril del 2012 se iniciaron las rotaciones con la siembra al voleo de los cultivos de servicios sobre el cultivo de soja en pie. Cada parcela recibió la misma rotación durante 3 años, con cultivos de servicios o barbecho invernal (Testigo), con el fin de acumular los efectos producidos por los diferentes cultivos. Los cultivos de servicios sembrados fueron *Trifolium alexandrinum* cv. INIA Calipso, *Vicia sativa* cv. Barril, *Raphanus sativus* cv. Brutus, *Lolium multiflorum* cv. INIA Cetus y *Avena strigosa* cv. Calprose Azabache. La siembra de los cultivos de servicios fue durante la primera quincena de abril y la aplicación de herbicida para interrumpir su ciclo, entre fines de septiembre y principios de octubre. El cultivo de soja se sembró en diciembre, mediante siembra directa a 32cm de distancia entre hileras.

Producción de biomasa y aportes de C y N al suelo

La producción de biomasa aérea de los cultivos para servicios, se evaluó todos los años en primavera, previo a la aplicación del herbicida. La producción subterránea se estimó a partir de la partición R/T de cada cultivo de servicio evaluada a campo en el año 2014. Todos los años se determinó el rendimiento del cultivo de soja y fueron utilizados para estimar la biomasa aérea y la subterránea considerando un índice de cosecha de 0,45 y una partición raíz/tallo de 0,1. Todas las muestras de biomasa se secaron en estufa a 60°C y fueron analizadas con un espectrómetro de masa acoplado a un autoanalizador Elemental Analyzer en la universidad de DUKE en USA para estimar los contenidos de C, N y $\delta^{13}C$. Estas mediciones permitieron caracterizar las entradas de biomasa al suelo que se detallan en la Tabla 1.

Estimación de la descomposición y humificación de la MOP y la MOAM



Para evaluar el cambio que genera cada rotación en la señal isotópica del C en la MOP y en la MOAM se tomaron muestras de suelo en el momento inicial y final del experimento. En cada parcela, se tomaron 8 muestras con un barreno de 2,2 cm de diámetro en las profundidades de 0-5 y 5-15. Las muestras fueron agrupadas en pares para estimar densidad aparente y dado que no existieron diferencias significativas no fue necesario corregir por masa constante. El fraccionamiento físico de la MOS se realizó con el método descrito por Cambardella & Elliot (1992) y en las fracciones MOP y MOAM se midió el %C y %N y la abundancia relativa de ^{13}C con un espectrómetro de masa Finnigan MAT Delta Plus XL, acoplado a un autoanalizador Elemental Analyzer (Carlo Erba Instruments Inc.) en la universidad de DUKE en USA.

Para estimar los flujos de entrada y de salida del COS en las distintas rotaciones se utilizó el método de dilución isotópica (Desjardins *et al.*, 1994). Debido a que todos los cultivos sembrados en las rotaciones y las malezas presentes en los periodos de barbecho fueron especies con metabolismo fotosintético C_3 , el valor de $\delta^{13}\text{C}$ del campo natural tiende a disminuir a medida que ingresa C de los cultivos. Este cambio que se genera en la $\delta^{13}\text{C}$ del C de la MOP y de la MOAM permite estimar el %C-MOP_{nuevo} y %C-MOAM_{nuevo} (i.e. que fueron formados a partir de los aportes de la rotación), el %C-MOAM_{mop} (i.e. que fue formado a partir de la MOP) y %C-MOP_{viejo} y %C-MOAM_{viejo} (i.e. que fue formado previo a la instalación del experimento, a partir de los aportes del campo natural) utilizando las siguientes ecuaciones:

$$a) \% \text{C-MOS}_{\text{nuevo}} = (\delta^{13}\text{C-MOS}_{\text{final}} - \delta^{13}\text{C-MOS}_{\text{inicial}}) / (\delta^{13}\text{C}_{\text{aportes}} - \delta^{13}\text{C-MOS}_{\text{inicial}}) * 100$$

$$b) \% \text{C-MOP}_{\text{nuevo}} = (\delta^{13}\text{C-MOP}_{\text{final}} - \delta^{13}\text{C-MOP}_{\text{inicial}}) / (\delta^{13}\text{C}_{\text{aportes}} - \delta^{13}\text{C-MOP}_{\text{inicial}}) * 100$$

$$c) \text{C-MOAM}_{\text{nuevo}} (\text{Tn ha}^{-1}) = \text{C-MOS}_{\text{nuevo}} - \text{C-MOP}_{\text{nuevo}}$$

$$d) \text{C-MOAM}_{\text{mop}} (\text{Tn ha}^{-1}) = [\text{C-MOAM}_{\text{nuevo}} * (\delta^{13}\text{C-MOAM}_{\text{inicial}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{aportes}}) + \text{C-MOAM}_{\text{final}} * (\delta^{13}\text{C-MOAM}_{\text{final}} - \delta^{13}\text{C-MOAM}_{\text{inicial}})] / (\delta^{13}\text{C-MOP} - \delta^{13}\text{C-MOAM}_{\text{inicial}})$$

donde $\delta^{13}\text{C-MOS}_{\text{inicial}}$, $\delta^{13}\text{C-MOP}_{\text{inicial}}$ y $\delta^{13}\text{C-MOAM}_{\text{inicial}}$ corresponden a la $\delta^{13}\text{C}$ que presentaba el C-MOS, C-MOP y C-MOAM en el momento inicial del experimento; $\delta^{13}\text{C-MOS}_{\text{final}}$, $\delta^{13}\text{C-MOP}_{\text{final}}$ y $\delta^{13}\text{C-MOAM}_{\text{final}}$ corresponden a la $\delta^{13}\text{C}$ que presentaban al final del experimento (luego de las rotaciones de 3 años de duración) y $\delta^{13}\text{C}_{\text{aportes}}$ corresponde a la $\delta^{13}\text{C}$ de los aportes totales de biomasa que recibió el suelo en cada rotación (Balesdent, 1987; Piñeiro *et al.* 2012).

Tabla 1- Caracterización de las entradas de biomasa y de C al suelo que recibió cada una de las rotaciones del cultivo de soja con cultivos de servicios o con presencia de barbecho invernal (testigo). Para cada rotación se muestra el promedio y el desvío estándar de los aportes de C durante los 3 años realizados desde la biomasa aérea o subterránea producida por los cultivos de servicios y por la soja. En el caso del testigo, la biomasa de cultivos de servicios corresponde a la de las malezas que crecieron durante el periodo de barbecho. Los aportes totales corresponden a la suma de todos los aportes de C que recibió el suelo durante los 3 años, su relación C/N y $\delta^{13}\text{C}$.

	<i>A. strigosa</i>	<i>L. multiflorum</i>	<i>R. sativus</i>	<i>T. alexandrinum</i>	<i>V. sativa</i>	Testigo
Cultivos de servicios						
Biomasa aérea						
Tn biomasa $\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$	6,37±3,58	4,66±1,46	5,34±3,11	3,30±0,66	3,16±0,30	2,17±0,43
Tn C $\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$	2,98±1,67	1,88±0,59	2,40±1,40	1,55±0,31	1,40±0,13	0,96±0,19
C/N	47,2	34,51	38,83	15,31	11,32	39,81
Biomasa subterránea						
Tn biomasa $\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$	0,91±0,51	0,59±0,19	1,11±0,64	0,53±0,11	0,51±0,05	0,37±0,07
Tn C $\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$	0,44±0,24	0,27±0,08	0,50±0,29	0,20±0,04	0,23±0,02	0,17±0,03
C/N	52,44	37,78	41,82	13,2	20,81	43,35
Cultivo de soja						
Rendimiento						
Tn $\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$	2,48±0,31	2,62±0,29	2,34±0,44	2,46±0,51	2,56±0,34	2,20±0,55
Aportes Totales						
Tn C ha^{-1}	15,77 ± 3,56	12,21 ± 0,70	14,12 ± 2,07	11,23 ± 1,06	10,16 ± 0,30	8,08 ± 0,86
C/N	25,29	19,79	22,90	14,15	12,75	18,14
$\delta^{13}\text{C}$	-28,27	-28,59	-28,28	-28,52	-28,25	-27,90

Análisis estadísticos

Los efectos de las distintas rotaciones en los contenidos de C en la MOP y en la MOAM se evaluaron mediante el análisis de la varianza (ANOVA) utilizando el programa InfoStat. La comparación post hoc de las medias se realizó mediante la prueba LSD de Fisher ($\alpha=0,05$). Se compararon tanto los contenidos totales de C en ambas fracciones como los contenidos de C-MOP_{nuevo}, C-MOP_{viejo}, C-MOAM_{nuevo}, C-MOAM_{mop} y C-MOAM_{viejo} que presentó cada rotación al final del experimento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de tres años de sembrar los distintos cultivos de servicios los contenidos de C-MOP en los primeros 15 cm de profundidad disminuyeron en todas las rotaciones, en comparación al campo natural o al momento inicial del experimento (Figura 1). En el tratamiento testigo el contenido de C-MOP fue menor que en el resto de las rotaciones ($2,75\pm 0,14$ Tn C-MOP ha^{-1} en la profundidad 0-15), pero presentó diferencias significativas sólo con *A. strigosa* ($3,93\pm 0,58$ Tn C-MOP ha^{-1} en la profundidad 0-15) (Figura 1). Las diferencias en el C-MOP estuvieron dadas principalmente por las diferencias en el C-MOP_{viejo} ya que no se encontraron diferencias significativas en el C-MOP_{nuevo} ($p=0,41$). En este sentido, las distintas rotaciones formaron en promedio $1,11\pm 0,28$ Tn C-MOP_{nuevo} ha^{-1} . En cambio, el C-MOP_{viejo} en los primeros 15 cm fue mayor en la rotación de *A. strigosa* ($2,55\pm 0,37$ Tn ha^{-1}), la cual presentó una menor descomposición del C-MOP_{viejo} que el testigo y la rotación con *T. alexandrinum*. Esto sugiere que tanto la ausencia de aportes en los periodos de barbechos como el aporte de biomasa con una baja relación C/N podría estimular la descomposición de la MOP y conducir a menores contenidos de C-MOP (Figura 1).

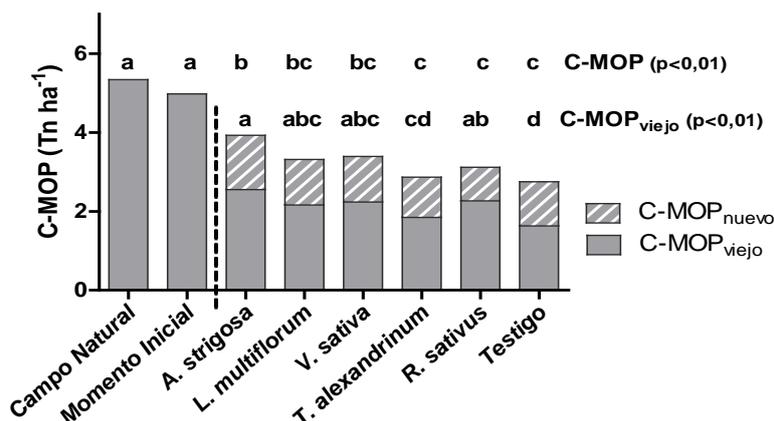


Figura 1 – Carbono en la fracción MOP acumulado en los primeros 15 cm de profundidad del suelo (Tn C ha^{-1}). Las barras lisas muestran el C-MOP_{viejo} (C formado previo a la instalación del experimento) y las barras ralladas el C-MOP_{nuevo} (C formado a partir de los cultivos presentes en la rotación). Las letras distintas muestran diferencias significativas en los contenidos de C presentes en el campo natural, en el momento inicial y en las distintas rotaciones de soja con cultivos de servicios o barbecho invernal (testigo) luego de 3 años. Las profundidades 0-5 y 5-15 se muestran acumuladas en la profundidad 0-15 porque reflejan las mismas tendencias. No se encontraron diferencias significativas para la C-MOP_{nuevo}.

Con respecto a la MOAM, todas las rotaciones lograron mantener contenidos similares de C-MOAM en los primeros 15 cm de profundidad con respecto al momento inicial, e incluso en las rotaciones con leguminosas los contenidos de C-MOAM aumentaron, llegando a valores similares a los del campo natural (Figura 2). El tratamiento testigo presentó el menor contenido de C-MOAM ($27,17\pm 1,52$ Tn ha^{-1}), principalmente debido a su menor contenido de C-MOAM_{viejo}. Las dos leguminosas en cambio, fueron las especies que presentaron los valores más altos de C-MOAM, debido a sus altos valores de C-MOAM_{viejo} (en promedio $27,2\pm 2,53$ Tn ha^{-1} de C-MOAM_{viejo}), que fueron significativamente mayores al testigo ($23,63\pm 1,58$ Tn C-MOAM_{viejo} ha^{-1}), generando una diferencia de casi 4 toneladas de C-MOAM_{viejo} entre estos tratamientos. A su vez, el C-MOAM_{mop} también fue mayor en las leguminosas ($1,69\pm 0,55$ Tn C-MOAM_{mop} ha^{-1} en promedio), sugiriendo un mayor pasaje de C desde la MOP hacia la MOAM. Las gramíneas en cambio, presentaron los menores valores de C-MOAM_{mop}, siendo *A. strigosa* la que mostro los valores más bajos ($1,08\pm 0,14$ Tn C-MOAM_{mop} ha^{-1}). Por otro lado, el contenido de C-MOAM_{nuevo} tendió a ser mayor en las gramíneas, especialmente en *A.*

strigosa ($2,53 \pm 0,23$ Tn C-MOAM_{nuevo} ha⁻¹) que resultó ser significativamente mayor al de *T. alexandrinum* y *R. sativus* ($1,78 \pm 0,79$ y $1,80 \pm 0,21$ Tn C-MOAM_{nuevo} ha⁻¹, respectivamente). Es decir que los cultivos de servicios de las gramíneas aumentan el ciclado de C en la MOAM, dado que estimulan su descomposición, pero luego logran formar una buena cantidad de C-MOAM_{nuevo} (Figura 2).

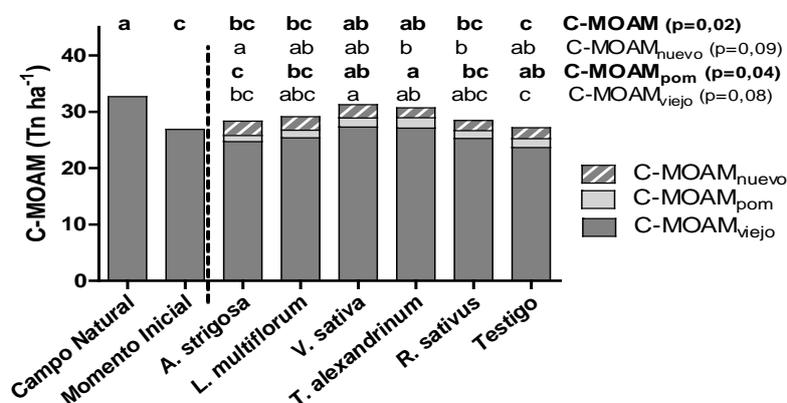


Figura 2 – Carbono en la fracción MOAM acumulado en los primeros 15 cm de profundidad del suelo (Tn C ha⁻¹). Las barras lisas de color gris oscuro muestran el C-MOAM_{viejo} (C formado previo a la instalación del experimento); las barras lisas de color gris claro muestran el C-MOAM_{pom} (C formado a partir de la MOP vieja y nueva) y las barras ralladas el C-MOAM_{nuevo} (C formado a partir de los cultivos presentes en la rotación). Las letras distintas muestran diferencias significativas o marginalmente significativas en C-MOAM_{nuevo} ($p=0,09$) y C-MOAM ($p=0,08$) en los contenidos de C presentes en el campo natural, en el momento inicial y en las distintas rotaciones de soja con cultivos de servicios o barbecho invernal (testigo) luego de 3 años. Las profundidades 0-5 y 5-15 se muestran acumuladas en la profundidad 0-15 porque reflejan las mismas tendencias.

Nuestros resultados dan lugar al planteo de nuevas hipótesis para explicar los resultados contradictorios reportados en la bibliografía sobre el efecto de los cultivos de servicios sobre la MOS. En general, las revisiones muestran que los cultivos de servicios aumentan la MOS en el largo plazo y sugieren que la ausencia de efecto o la pérdida de MOS se debe a que los experimentos se necesitan continuar por más tiempo (Poeplau & Don, 2015; Alvarez *et al.*, 2017). Sin embargo, es importante considerar que para que el efecto sobre la MOS sea positivo es necesario garantizar que las entradas dadas por la humificación superen a la descomposición de la MOS. En nuestro experimento, esto sólo ocurrió con cultivos de servicios de leguminosas. Pero, dado que las características de los cultivos de servicios que influyen en la descomposición y en la humificación del C de cada fracción de la MOS son muy diferentes es necesario considerar los cambios en cada fracción. Por ejemplo, la disminución en la MOS tras la inclusión de cultivos de servicios de leguminosas observada por Plaza-Bonilla *et al.* (2016) podría deberse a una disminución en la MOP por un efecto de priming por N que estimula la descomposición de la MOP (Knorr, Frey & Curtis, 2005). En estos casos donde los cambios en la MOS sean explicados por los cambios en la MOP, sería necesario incluir cultivos de servicios con una alta C/N para evitar la descomposición de la MOP (Mathew *et al.*, 2017). Sin embargo, es probable que los cambios en la MOP sólo gobiernen los cambios en la MOS cuando la MOAM se encuentre saturada o la MOP represente una fracción grande de la MOS, como ocurre en suelo arenosos. Esto permitiría explicar las diferencias con los resultados encontrados por Ladoni *et al.* (2016). En este caso, los aportes con baja C/N aumentaron la MOS porque podrían estar reflejando los cambios en la MOAM. Bajo el supuesto de que la MOAM se encuentra lejos del estado de saturación, la estequiometría de los aportes de las leguminosas permitiría aumentar la eficiencia de los microorganismos del suelo y aumentar la humificación en la MOAM (Cotrufo *et al.* 2013; Castellano *et al.* 2012).

CONCLUSIONES

Luego de tres años de sembrar los distintos cultivos de servicios los contenidos de C-MOP disminuyeron en todas las rotaciones con respecto al momento inicial del experimento y el tratamiento testigo tuvo el menor contenido de C-MOP. Entre las rotaciones evaluadas, las que presentaron los mayores contenidos de C-MOP fueron *A. strigosa*, *L. multiflorum* y *V. sativa*. Los menores contenidos de C-MOP del tratamiento testigo y de la rotación con *T. alexandrinum* estuvieron explicados por un aumento en la descomposición de C-MOP_{viejo} que podría deberse a la ausencia de aportes en el periodo de barbecho o un efecto *priming* de N (el cual fue observado en *T. alexandrinum* pero no en *V. sativa*). Por otra parte, todas las rotaciones mantuvieron contenidos similares de C-MOAM con respecto al momento inicial, y las



rotaciones con leguminosas aumentaron la C-MOAM, llegando a valores similares a los del campo natural previo a la instalación del experimento. Estos cambios en la MOAM se debieron tanto a cambios en la descomposición como en la humificación de la MOAM (entradas y salidas de C). Nuestros resultados sugieren que las gramíneas aumentan la descomposición de la MOAM pero también su humificación (por lo tanto aumentando su velocidad de ciclado), mientras que las leguminosas disminuyen la descomposición y aumentan la humificación de la MOAM en los rangos estudiados.

AGRADECIMIENTOS

A Ignacio Macedo por su colaboración en las evaluaciones del experimento y a las Empresas Agritec, Fertiprado y Wrighston Pas y Erro por la provisión de materiales.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R, HS Steinbach & JL De Paepe. 2017. "Cover Crop Effects on Soils and Subsequent Crops in the Pampas: A Meta-Analysis" 170: 53–65.
- Balesdent, J. 1987. "The Turnover of Soil Organic Fractions Estimated by Radiocarbon Dating." *The Science of the Total Environment* 62: 405–8.
- Cambardella, CA & ET Elliot. 1992. "Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence." *Soil Science Society of America Journal* 56. National Soil Tilth Lab., 2150 Pammel Drive, Ames, IA 50011, USA: 777–83.
- Castellano, MJ, JP Kaye, H Lin & JP Schmidt. 2012. "Linking Carbon Saturation Concepts to Nitrogen Saturation and Retention." *Ecosystems* 15: 175–87.
- Cotrufo, MF, MD Wallenstein, CM Boot, K Deneff & E Paul. 2013. "The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) Framework Integrates Plant Litter Decomposition with Soil Organic Matter Stabilization: Do Labile Plant Inputs Form Stable Soil Organic Matter?" *Global Change Biology* 19: 988–95.
- Desjardins, T, F Andreux, B Volkoff & CC Cerri. 1994. "Organic Carbon and ^{13}C Contents in Soils and Soil Size-Fractions, and Their Changes due to Deforestation and Pasture Installation in Eastern Amazonia." *Geoderma* 61. Centre de Pédologie Biologique du C.N.R.S., UPR 6831 du CNRS, associée à l'Université de Nancy I, B.P. 5, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex, France: 103–18.
- Enriquez, S & CM Duarte. 1993. "Patterns in Decomposition Rates among Photosynthetic Organisms: The Importance of Detritus C:N:P Content." *Oecología* 94: 457–71.
- Fontaine, S, A Mariotti & L Abbadie. 2003. "The Priming Effect of Organic Matter: A Question of Microbial Competition?" *Soil Biology and Biochemistry* 35: 837–43.
- Kirkby, CA, AE Richardson, LJ Wade, GD Batten, C Blanchard & JA Kirkegaard. 2013. "Carbon-Nutrient Stoichiometry to Increase Soil Carbon Sequestration." *Soil Biology and Biochemistry* 60. Elsevier Ltd: 77–86.
- Knorr, M, SD Frey & PS Curtis. 2005. "Nitrogen Additions and Litter Decomposition: A Meta Analysis." *Ecology* 86: 3252–57.
- Kuzyakov, Y, JK Friedel & K Stahr. 2000. "Review of Mechanisms and Quantification of Priming Effects." *Soil Biology and Biochemistry* 32: 1485–98.
- Ladoni, M, A Basir, PG Robertson & AN Kravchenko. 2016. "Scaling-up: Cover Crops Differentially Influence Soil Carbon in Agricultural Fields with Diverse Topography." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 225: 93–103.
- Mathew, I, H Shimelis, M Mutema & V Chaplot. 2017. "What Crop Type for Atmospheric Carbon Sequestration: Results from a Global Data Analysis." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 243: 34–46.
- Melillo, JM, JD Aber & JF Muratore. 1982. "Nitrogen and Lignin Control of Hardwood Leaf Litter Decomposition Dynamics." *Ecology* 63: 621–26.
- Piñeiro, G, S Mazzilli, P Eclesia, EG Jobbagy, MG Rizzoto & RB Jackson. 2012. "Estimating Carbon Fluxes Simultaneously in Two Soil Fractions Using ^{13}C Changes after Vegetation Replacements." In 8th International Conference on Applications of Stable Isotopes Techniques to Ecological Studies (ISOECOL). Brest.
- Plaza-Bonilla, D, JM Nolot, S Passot, D Raffailac & E Justes. 2016. "Grain Legume-Based Rotations Managed under Conventional Tillage Need Cover Crops to Mitigate Soil Organic Matter Losses." *Soil and Tillage Research* 156: 33–43.
- Poeplau, C & A Don. 2015. "Carbon Sequestration in Agricultural Soils via Cultivation of Cover Crops – A Meta-Analysis." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 200:33–41.
- Taylor, BR, D Parkinson & WFJ Parsons. 1989. "Nitrogen and Lignin Content as Predictors of Litter Decay Rates: A Microcosm Test." *Ecological Society of America* 70: 97–104.