

Rotaciones y cultivos de cobertura: Dinámica del agua y el carbono en regiones sub-húmedas.

Cristian Román Cazorla, Carlos Martín Galarza, Tomás Baigorria, Bethania Aimetta, Gustavo Mattalia.

INTA Marcos Juárez

Introducción

El presente trabajo recopila información acerca del efecto que tienen las rotaciones y los cultivos de cobertura en ensayos realizados en la estación experimental agropecuaria INTA Marcos Juárez. El objetivo del trabajo es destacar algunos aspectos relevantes de las investigaciones realizadas y conclusiones generales, que pueden no ser extrapolables a condiciones particulares de cada año.

Se presentara información de un ensayo de larga duración iniciado en el año 1993, con una secuencia trigo/soja – maíz – soja, donde el diseño experimental es de parcelas sub-divididas, siendo la parcela principal el cultivo, para de esta forma evaluar el efecto de los tratamientos en cada cultivo y para cada año. En este informe se presentaran datos de los efectos de largo plazo de diferentes esquemas de fertilización de cultivos sobre el carbono orgánico del suelo (COS). Los tratamientos evaluados fueron fertilización de diagnóstico (FD) y fertilización con criterio de reposición de nutrientes (FR). Además se presentaran resultados del efecto de la incorporación de cultivos de cobertura a la rotación (CC) con FD (FD+CC). El efecto de la rotación trigo/soja – maíz – soja, en los esquemas de fertilización y utilización de CC se comparó con parcelas de otros ensayos de larga duración que no están presentes dentro del diseño experimental, pero que fueron utilizadas como situaciones de referencia. Las situaciones de referencia elegidas fueron soja continua (SC) o monocultivo de soja en siembra directa desde el año 1993 y una pastura permanente sin pastoreo o corte, siendo ésta una situación de referencia acerca de cómo evolucionarían los suelos si dejaran de utilizarse. Los datos presentados fueron obtenidos en el año 2006.

Por otra parte se presentaran datos del efecto de los cultivos de cobertura en una rotación soja – maíz que se inició en el año 2008, también en la estación experimental INTA Marcos Juárez. Los datos presentados evalúan el efecto de diferentes antecesores invernales a los cultivos de maíz y soja. Estos antecesores son gramíneas invernales tales como centeno (*Secale cereale* (L.) M. Bieb.) y triticale (*x Triticum secale* Wittm. ex A. Camus), o leguminosas como vicia villosa (*Vicia villosa* Roth.). Para evaluar el efecto de los CC en la rotación se incluyó dentro del diseño experimental un testigo sin CC denominado barbecho. Este ensayo tiene un diseño experimental de bloques completos aleatorizados y se presentan datos del efecto de los antecesores de invierno en los contenidos de carbono orgánico y agua disponible en el suelo.

Se excluyen del presente análisis datos del efecto de las rotaciones y los CC en variables importantes como control de malezas, dinámica del nitrógeno, rendimientos de los cultivos estivales o propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Asimismo se incluyen citas a trabajos en su mayoría realizados en nuestro país para contar con material de referencia para quienes quieran ampliar sus conocimientos en temas específicos que exceden el presente informe.

Importancia del carbono en el suelo

La materia orgánica del suelo (MOS) está compuesta por sustancias carbonadas orgánicas, y se encuentran desde materiales vegetales frescos sin descomponer hasta cadenas carbonadas muy transformadas y estables como los ácidos húmicos (Álvarez & Steinbach, 2006a). Estas sustancias carbonadas provienen de restos vegetales, raíces de plantas, restos animales (macro, meso y microfauna), bacterias y hongos. Los residuos orgánicos que comprenden el material vegetal y animal en distintas fases de transformación pueden representar entre el 10 y el 35% del COS, la biomasa microbiana viva entre un 1 y 5% y el material humificado entre el 50 y 85% (Galantini, 2008).

La MOS un reservorio temporario de nutrientes en agro ecosistemas que contiene casi todo el N del suelo (98%), como así también del S (aproximadamente 98%), y de un 30 a un 50% del P (Álvarez & Steinbach, 2006a). La MOS tiene relación con propiedades físicas del suelo como la susceptibilidad a la compactación (Díaz-Zorita & Grosso 2000; Quiroga *et al.*, 1998), densidad aparente máxima, estabilidad de agregados (Quiroga, *et al.*, 1998) y proporción de agregados mayores a 2 mm (Cosentino *et al.*, 1998).

La MOS tiene una importante función en la productividad de los suelos. Díaz Zorita *et al.* (1999) mostraron que el rendimiento de trigo, en situaciones sin fertilización con N en suelos Haplustoles de la Región Semiárida Pampeana, está correlacionado positivamente con el contenido de MOS en los primeros 20 cm del suelo. En cambio, en la región pampeana sub-húmeda no se encontraron relaciones entre rendimientos y contenidos de MOS para los cultivos de trigo y maíz (Álvarez & Steinbach, 2006a). A nivel general, se reconoce la importancia de la MOS en determinar los índices de productividad para el cultivo de trigo en la región subhúmeda pampeana (Alvarez & De Paepe, 2011).

Reconstruir o usar el carbono del suelo?

Los contenidos de MOS están regulados por la cantidad de residuos aportados y su tasa de descomposición, la tasa a la cuál es mineralizada la MOS, el clima y la textura (Johnstone *et al.*, 2009). En sistemas agrícolas los residuos vegetales son la principal fuente de sustancias carbonadas y pasan por diferentes estados intermedios de descomposición hasta convertirse en MOS estable. Al mismo tiempo ocurre la mineralización del humus, que libera CO₂ y nutrientes y es una pérdida de C del sistema. El nivel de MOS es así el resultado de un balance entre aportes y

mineralización (Álvarez & Steinbach., 2006b). La degradación de residuos de cultivos libera entre 55 a 70 % de C a la atmósfera en forma de CO₂, 5 a 15 % es incorporado dentro de la biomasa microbiana y el remanente (15 a 40 %) es parcialmente estabilizado en el suelo como nuevo humus (Jenkinson, 1971).

En sistemas agrícolas, el balance de carbono es modificado por los aportes de los residuos de cultivos y su calidad (C/N). La rotación de cultivos aumenta los contenidos de MOS debido al mayor aporte de residuos (Bronick & Lal, 2005). Considerando el aporte medio de residuos de cultivos (biomasa+raíces), la alternativa de soja continua es de menor aporte de residuos a los sistemas agrícolas, mientras que los aportes se incrementan con maíz o la intensificación que incluye cultivos de invierno, ya sea trigo de cosecha o CC (Tabla 1). Al realizar balances de carbono con índices de mineralización de 5,7 % (Álvarez & Steinbach, 2006c) con valores de MOS de 2,8 % en los primeros 20 cm de profundidad (densidad aparente= 1,3 Mg m⁻³; masa de suelo 2600 Mg ha⁻¹), la pérdida de COS por mineralización sería de 2,4 Mg ha⁻¹ año⁻¹. La alternativa de monocultivo de soja provee insuficiente carbono para mantener los niveles de COS, mientras que las otras alternativas lo mantienen o lo pueden mejorar dependiendo de la condición de sitio inicial al aumentar la intensificación (vicia/maíz – trigo/soja 2^{da} – soja 1^{ra}).

Tabla 1: Aportes de carbono al suelo de diferentes rotaciones de cultivos considerando los rendimientos medios del departamento Marcos Juárez para las campañas 2008 – 2014.

Rotación	Aporte de MS (Mg ha ⁻¹)	Aporte de C (Mg ha ⁻¹)	Aporte de C al humus (Mg ha ⁻¹)
barbecho/soja 1 ^{ra}	7,98	3,02	1,51
triticale/soja 1 ^{ra}	21,76	8,24	4,12
trigo/soja 2 ^{da}	15,42	5,84	2,92
barbecho/maíz	12,60	4,77	2,39
vicia/maíz	24,03	9,10	4,55

Fuente: Aportes de MS (Zorzín *et al.*, 2014) y aportes de carbono en base a fórmulas de cálculo en base a lo propuesto por Álvarez & Steinbach (2006c).

En un experimento de larga duración en la EEA INTA Marcos Juárez, se encontró que los contenidos de COS (0 – 18 cm), fueron crecientes a medida que la intensificación de cultivos fue mayor (Figura 1). Un sistema de rotación de cultivos con nivel de fertilización media incrementó el contenido de COS en 0,5 Mg ha⁻¹ en el periodo 1993 - 2006 mientras que el incremento fue de 1,2 Mg ha⁻¹ cuando se fertilizó a los cultivos con un criterio de reposición de nutrientes. El criterio de fertilización de nutrientes mejora los rendimientos de maíz y trigo en la rotación con respecto a las demás alternativas (Galarza, datos no mostrados). Los sistemas de rotación con la inclusión de CC

fue la de mayor contenido de COS sin llegar a los valores de una pastura permanente. Este mayor aporte de residuos se debe a los incrementos de los rendimientos de los cultivos en rotación (Lattanzi *et al.*, 2005). La rotación de cultivos es más efectiva en incrementar los rendimientos de soja en comparación al monocultivo (Martellotto *et al.*, 2001). La utilización de CC incrementa los aportes de residuos de cultivos, por lo tanto son mayores los contenidos de COS (Amado *et al.*, 2006; Cosentino *et al.*, 1998).

Los niveles de COS que tenían los suelos bajo situaciones prístinas, fueron disminuyendo con los años de agricultura en la Pampa Ondulada debido a los menores aportes de residuos, al aumento de la temperatura del suelo y a la destrucción de agregados (Álvarez & Steinbach., 2006b). Esta disminución fue de alrededor del 50% del contenido inicial luego de 80 años de agricultura continua (Andriulo & Cordone, 1998).

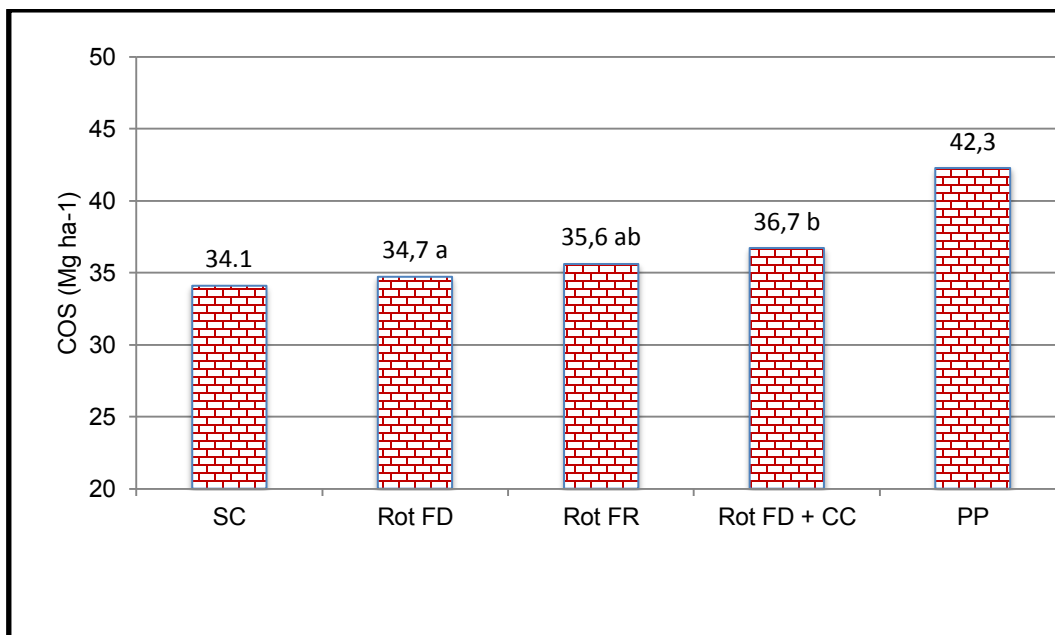


Figura 1: Contenidos de carbono del suelo en la profundidad 0 – 18 cm en diferentes estrategias de manejo.

Fuente: Cazorla *et al.*, 2016.

SC = soja continua; Rot= rotación trigo/soja- maíz-soja.; CC= cultivos de cobertura; FD= fertilización de diagnóstico; FR= fertilización de reposición; PP= pastura permanente sin utilización.

Fracciones del COS: carbono orgánico particulado

Las fracciones del COS comprende por un lado a componentes lábiles, de formación temprana, de mayor tamaño y menor degradación y por el otro lado a componentes estabilizados, de mayor edad de formación, menor tamaño y por lo tanto protegido dentro de partículas finas que las protegen de la degradación microbiana. Las primeras según su forma de determinación, se pueden llamar: fracción liviana, particulada, carbono orgánico joven, mientras que la segunda suele llamarse fracción pesada, fracción protegida o carbono orgánico viejo (Galantini, 2008). Estas fracciones son sensibles para detectar cambios en la dinámica del C ante variaciones en las estrategias de manejo en el corto plazo, por lo cual son importantes indicadores de la calidad del suelo (Quiroga *et al.*, 1996).

En sistemas agrícolas continuos el COP está relacionado a importantes propiedades como la disponibilidad de nutrientes (Quiroga *et al.*, 2001) y estabilidad de agregados (Six *et al.*, 1998). El COP está libre de material mineral que pueda protegerlo de la descomposición (Gregorich *et al.*, 1994) y tiene una relación positiva con la disponibilidad de N (Quiroga *et al.*, 2005). Las respuestas a la fertilización nitrogenada tienden a decrecer por una mayor oferta de N mineral para los cultivos, como lo demuestran los trabajos de Quiroga *et al.*, (2005), en cultivos de trigo y maíz en Hapludoles de la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. También se encontraron relaciones positivas y significativas entre la MOP y nutrientes como, P, K y S (Galantini *et al.*, 2006).

Los contenidos de COP en situaciones prístinas de Argiudoles típicos, son aproximadamente el 50% del contenido de COS, siendo la otra mitad carbono estable (Andriulo *et al.*, 1999). Estos investigadores reportaron que luego de 80 años de agricultura continúa los contenidos de COP en relación al COS descendieron a valores de 22%. Esto quiere decir que las pérdidas de COS con respecto a las situaciones iniciales, ocurren en casi su totalidad en el COP, sin grandes cambios en la fracción estabilizada del COS. Por este motivo se han incrementado los estudios realizados en nuestro país evaluando el efecto de las estrategias de manejo sobre estas variables (Eiza *et al.*, 2005; Diovisalvi *et al.*, 2008; Irizar *et al.*, 2013; Galantini *et al.*, 2008).

En ensayos de rotaciones de larga duración de la EEA Marcos Juárez, se observó que al igual que lo sucedido con el COS, a medida que la rotación era más intensiva en el uso del suelo, los valores de COP se incrementaron. La rotación que incluyó CC, presentó un 80% más de COP que una situación de soja continua (Figura 2). Los valores de carbono orgánico estabilizado no fueron diferentes entre tratamientos para este estudio (datos no mostrados). En suelos Argiudoles típicos de la región sur de Santa Fe por Duval *et al.*, (2016) observaron mayores contenidos de COP cuando se incluían CC en monocultivo de soja en relación al testigo sin CC.

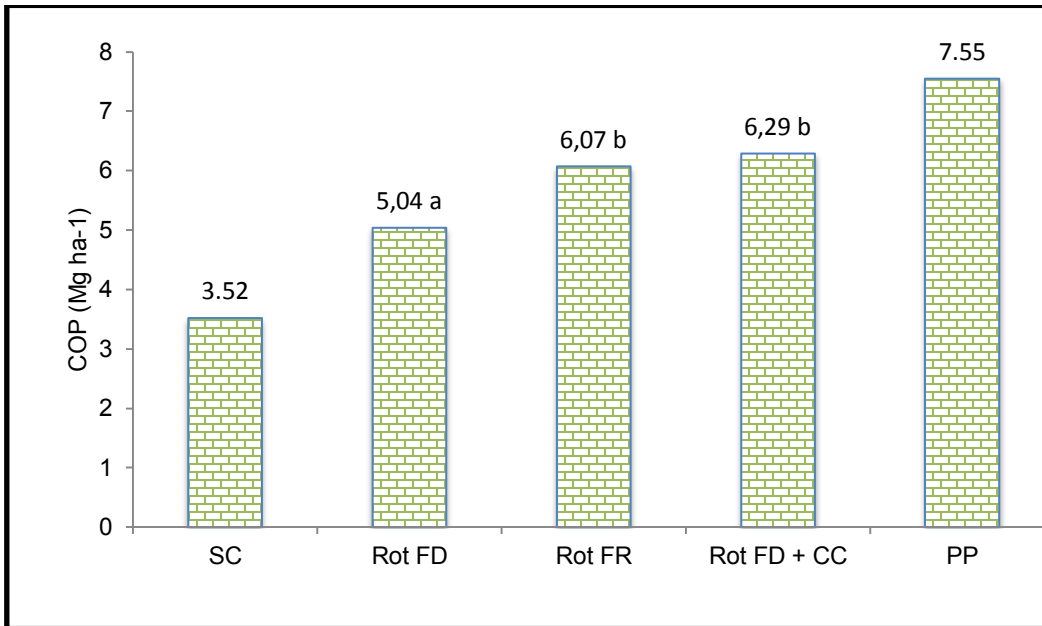


Figura 2: Contenidos de COP en la profundidad 0 – 18 cm en diferentes estrategias de manejo. SC = soja continua; Rot= rotación trigo/soja- maíz-soja.; CC= cultivos de cobertura; FD= fertilización de diagnóstico; FR= fertilización de reposición; PP= pastura permanente sin utilización.

Variabilidad temporal en los contenidos de carbono del suelo

Es importante considerar que hay un marcado efecto del momento del muestreo en los contenidos de COP. Carter (2002) postula que el aumento transitorio de este reservorio de rápida descomposición (COP) necesita de adiciones continuas de C para mantenerse en el tiempo. En ensayos realizados en la EEA INTA Marcos Juárez, se pudo observar en el año 2009, al segundo año de incluir CC en una rotación soja - maíz, que la estrategia de utilizar CC puede presentar mayores contenidos de COP al secado de las coberturas que la situación de barbecho (Figura 3). Sin embargo esta situación no se mantiene durante todo el año, ya que a la siembra y cosecha de soja no se observaron diferencias en los contenidos de COP entre tratamientos. Esta situación es acorde a lo explicado por Carter (2002). En barbecho, los valores de COP son constantes a través de todo el periodo, mientras que en las situaciones con CC los valores se incrementan al secado y pueden proveer de nutrientes a los cultivos estivales o mantener condiciones de mayor estabilidad de agregados.

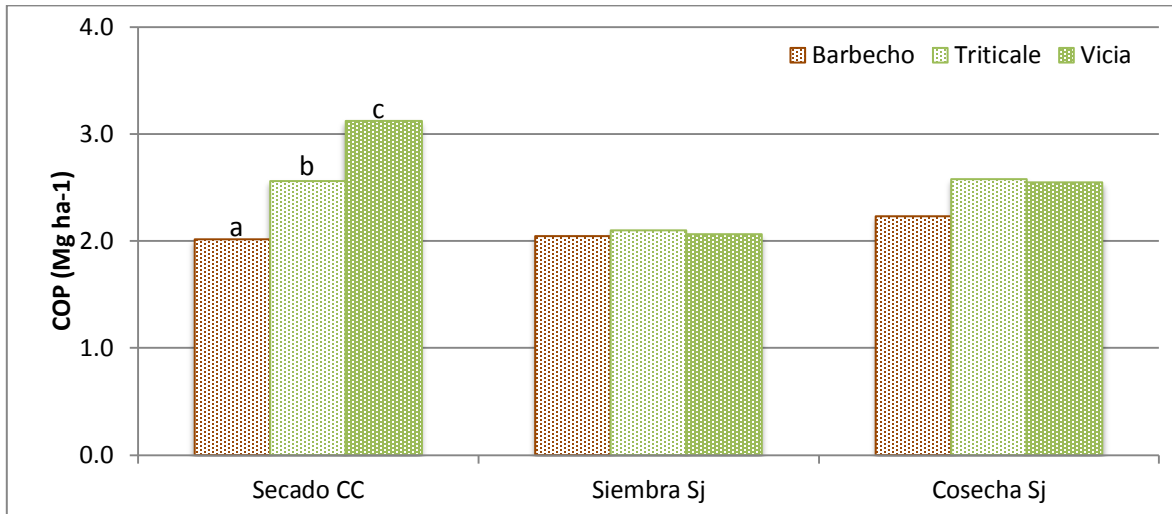


Figura 3: Dinámica estacional de los contenidos de carbono orgánico particulado en la profundidad 0-5 cm en los tratamientos testigo, triticale y vicia en diferentes momentos.

Dinámica de agua en sistemas con CC

El consumo hídrico de los CC durante el invierno podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo siguiente (Cosentino *et al.*, 2008), afectando la implantación del cultivo sucesor o comprometiendo su rendimiento final. Esto dependerá de la capacidad de retención de agua (CRA) útil del perfil de suelo explorado por las raíces y de las precipitaciones desde el secado del CC hasta la siembra del cultivo estival. Según Alvarez *et al.*, (2016) los CC presentan mayores tasas de infiltración del agua de lluvia en relación a un barbecho sin CC. Esto se debe en parte al incremento de la cobertura del suelo y en parte a la mayor macroporosidad generada por las raíces durante el ciclo de los CC. La mayor cobertura de biomasa disponible disminuye la amplitud térmica del suelo superficial, que se traduce en menos pérdida de agua por evaporación. Esto genera una mejora en la eficiencia de uso del agua, que puede aumentar la disponibilidad para el cultivo agrícola siguiente (Capurro *et al.*, 2010). En un ensayo con una rotación soja – maíz se evaluó el efecto de la inclusión de centeno como CC en los contenidos de agua disponible del suelo (AD) en relación a la situación barbecho, sin CC. Se encontró que para los años 2010 y 2011 hubo diferencias significativas en los contenidos de AD en los momentos de secado, pero luego a la siembra de los cultivos de verano estas diferencias no fueron significativas (Figura 4). En los años 2012 en adelante, con el incremento en los niveles freáticos a menos de 1,5 metros de profundidad en el sitio del ensayo, no se observaron diferencias en los contenidos de AD al momento de secado de los CC y siembra de los cultivos de verano. En el año 2014, la siembra del cultivo estival se realizó dos días después del secado del CC, considerando que los contenidos de AD se encontraban en valores de capacidad de campo.

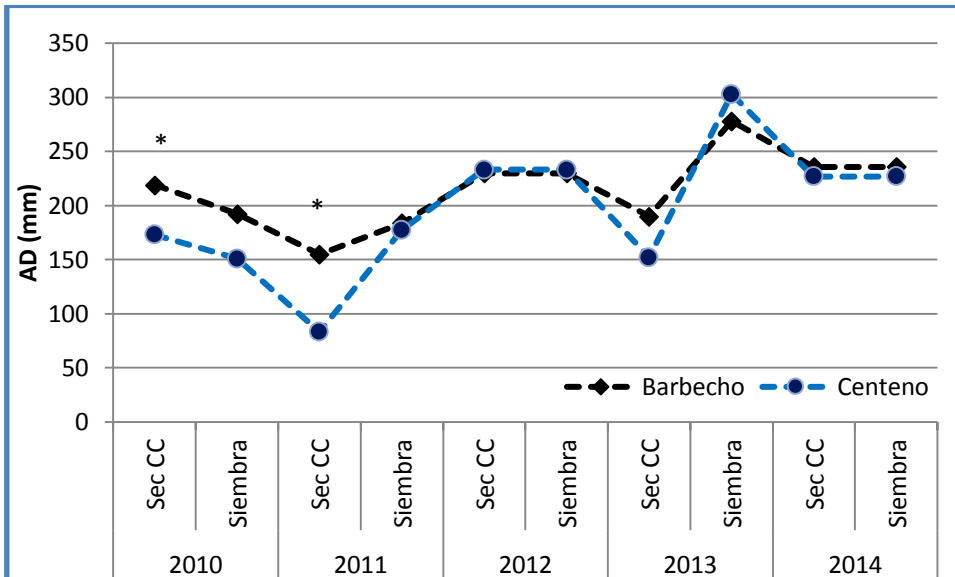


Figura 4: Dinámica del agua disponible del suelo (mm) en 150 cm de profundidad, para los momentos de secado del CC y siembra del cultivo estival con dos antecesores: barbecho y centeno.

* Indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En el año 2012 se secó el 17/10/2012, se sembró el 19/11/12 y se tuvo que resembrar el 27/12/12 por un evento de piedra y tornado.

En ambientes similares a la zona de estudio, Restovich *et al.* (2012) sobre un Argiudol típico en Pergamino encontraron que el contenido de AD al momento de la siembra de soja varió acorde a los CC, donde gramíneas y crucíferas presentaban iguales contenidos de AD que barbecho, situación que no se observó cuando los antecesores fueron vicia y la mezcla de vicia y avena. De la misma forma, Capurro *et al.* (2010) durante tres años de evaluación de soja sobre CC encontró que el consumo de agua por parte de los CC no fue una limitante para la producción de soja en un Argiudol típico de la provincia de Santa Fe.

La dinámica del AD también se puede analizar durante una situación de barbecho invernal contrastada con una situación de crecimiento de un CC, en este caso vicia villosa como antecesor de un maíz tardío (figura 5). Se puede observar por un lado la disminución en los contenidos de AD en relación al barbecho durante todo el ciclo hasta el momento de secado. Luego al momento de la siembra de maíz, el AD se iguala en ambos antecesores, al igual que lo observado en la figura 4. Se puede advertir que en el caso de un fecha de siembra de maíz temprano (Por ejemplo: 15/09) el antecesor vicia hubiera presentado menor contenido de AD que en barbecho. En cambio al considerar una fecha de siembra tardía, las precipitaciones recargan los perfiles y el antecesor con CC tiene la misma cantidad de agua que el barbecho. La situación puede ser diferente cuando hay influencia de las napas freáticas y los contenidos de AD al secado son similares a la situación barbecho (Figura 4, años 2012, 2013 y 2014).

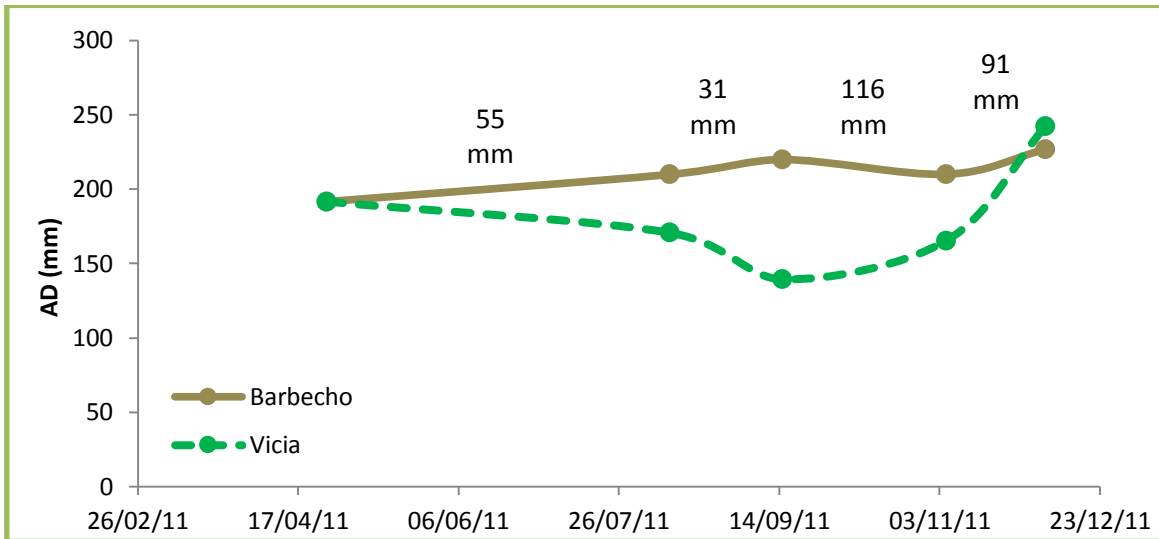


Figura 5. Recarga de agua de precipitaciones en situaciones con CC (centeno) y sin CC (barbecho).

Consideraciones

Combinar estrategias de rotación de cultivos, fertilización e inclusión de cultivos de cobertura que maximicen el aporte de residuos, es una vía para incrementar en el largo plazo los contenidos de COS y en el corto plazo los contenidos de COP. Las estrategias mencionadas también son más eficientes en el uso del agua, ya que se maximiza la generación de biomasa aérea y radicular por cada mm de agua consumida.

La utilización de cultivos de cobertura disminuye los contenidos de agua en el perfil al momento de secado en relación a un barbecho. Luego, a través de la mejora en la infiltración y la disminución de la evaporación, los contenidos de agua disponible a la siembra de los cultivos estivales son iguales a una situación de barbecho. Los cultivos de cobertura no presentan significativos consumos de agua en sistemas con napas cercanas a la superficie (> 1 metro) pero su efecto en el incremento de la infiltración de agua de lluvia podría disminuir los volúmenes de escurrimiento de zonas altas a bajas de la cuenca.

Tanto el agua como el carbono del suelo provienen de recursos disponibles en la atmósfera, por lo tanto hay que utilizar estrategias que maximicen su incorporación al suelo, ya que son factores de producción de cultivos y productividad de suelos.

Referencias bibliográficas

Alvarez, C., M Barraco, C Cazorla, J Colazo, J de Dios Herrero, A Lardone, P Girón, S Restovich, S Rillo. 2016. Mejora de propiedades edáficas con inclusión de cultivos de cobertura en agroecosistemas pampeanos. XXV Congreso Argentino de la ciencia del suelo. Rio Cuarto, 27 de Junio al 01 Julio del 2016.

- Alvarez, R., Steinbach, H.S. 2006a. Valor agronómico de la materia orgánica. En: *Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*. Ed. Pascale A. J. *Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina*, pp. 1-11.
- Alvarez, R., Steinbach, H.S. 2006b. Efecto de la agricultura sobre el nivel de materia orgánica. En: *Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*. Ed. Pascale A. J. *Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina*, pp. 41-53.
- Alvarez, R., Steinbach, H.S. 2006c. Balance de Carbono en suelos cultivados. En: *Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*. Ed. Pascale A. J. *Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina*, pp. 55-67.
- Alvarez, R., De Paepe, J. 2011. *Establishing productivity indices for wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach. Focus on Artificial Neural Networks*. Pág. 75-95. Ed. John A. Flores, de Nova Science Publishers, Inc.
- Amado, TJC, C Bayer, PC Conceicao, E Spagnollo, BC Campos, and M Veiga. 2006. Potential of Carbon Accumulation in No-Till Soils with Intensive Use and Cover Crops in Southern Brazil. *Journal of Environmental Quality* 35, 1599–1607.
- Andriulo, A., & Cordone, G. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. *Siembra directa. J. Panigatti, H. Marelli, D. Buschiazzo and R. Gil (eds.). Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina*, 65-96.
- Andriulo, A., Guerif, J., Mary, B. 1999a. Evolution of soil carbon with various cropping sequences on the rolling pampas. Determination of carbon origin using variations in natural ¹³C abundance. *Agronomie* 19, 349 – 364.
- Bronick, C.J. and Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124, 3 -22.
- Capurro, J., Surjack, J., Andriani, J., Dickie, M. J., & Gonzalez, M. C. 2010. Evaluación de distintas especies de cultivos de cobertura en secuencias soja-soja en el área sur de la provincia de Santa Fe. *Para mejorar la producción* 45, EEA INTA Oliveros.
- Carter MR. 2002. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil function. *Agronomy Journal* 94, 38–47.
- Cosentino, D., Costantini, A.O., Galarza, C. 2008. Efectos del cultivo de cobertura y la fertilización sobre algunas propiedades de un Argiudol pampeano y el rendimiento del cultivo de maíz. Resúmenes de XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes, San Luis. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.
- Cosentino, D., Costantini, A., Segat, A., Fertig, M. 1998. Relationships between organic carbon fractions and physical properties of an argentine soil under three tillage system. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 33, 981– 986.
- Díaz – Zorita, M., Buschiazzo D. E., Peineman N. 1999. Soil organic matter and wheat productivity in the semiarid Argentine Pampas. *Agronomy Journal* 91, 276-279.
- Díaz-Zorita, M., Grosso G.A. 2000. Effect of soil texture, organic carbon and water retention on the compactability of soils from the Argentinean pampas. *Soil and Tillage Research* 54, 121–126.
- Ding, G., Liu, X., Herbert, S., Novak, J., Amarasiriwardena, D., Xing, B. 2006. Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma* 130, 229-239.

- Diovisalvi, N., Studdert, G.A., Domínguez, G.F., Eiza, M.J. 2008. Fracciones de carbono y nitrógeno orgánicos y nitrógeno anaeróbico bajo agricultura continua con dos sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 26, 1-11.
- Duval, M. E., Galantini, J. A., Capurro, J. E., & Martinez, J. M. (2016). Winter cover crops in soybean monoculture: Effects on soil organic carbon and its fractions. *Soil and Tillage Research*, 161, 95-105.
- Eiza, M.J., Fioriti, N. Studdert, G. y Echeverria, H. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ciencia del Suelo* 23, 59-67.
- Galantini, J.A. 2008. Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo. En: Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. Galantini, J.A. (Ed.), Editorial de la universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. pp. 19-39.
- Galantini, J.A., y Suñer, L. 2008. Soil organic matter fractions: analysis of Argentine soils. *Agriscientia* XXV, 41-55.
- Galantini, J.A., Rosell, R. 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid pampean soils. *Soil and Tillage Research* 87, 72–79.
- Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M., Ellert, B.H. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science* 74, 367–385.
- Irizar, A., Andriulo, A., & Mary, B. 2013. Long-term impact of no tillage in two intensified crop rotations on different soil organic matter fractions in Argentine Rolling Pampa. *The Open Agriculture Journal*, 7(supl 1).
- Jenkinson, D.S., 1971. Studies on the decomposition of C14 labelled organic matter in soil. *Soil Science* 111, 64–70.
- Johnston, A.E., Poulton, P.R., and Coleman, K. 2009. Soil Organic Matter: Its Importance in Sustainable Agriculture and Carbon Dioxide Fluxes. *Advances in Agronomy* 101, 1-57.
- Lattanzi, AR, Arce JM, Marelli HJ, Lorenzon, C, Baigorria, T. 2005. Efecto de largo plazo de la siembra directa y de rotaciones de cultivos sobre los rendimientos, el Carbono y Nitrógeno orgánico en un suelo Argiudol típico en Marcos Juárez. En: Seminario internacional de indicadores de calidad de suelos. Coordinador Hugo Juan Marelli.- INTA Marcos Juárez: EEA Marcos Juárez, 2005, pp. 18-37.
- Martellotto, E., Salas, H. y Lovera, E. 2001. El monocultivo de soja y la sustentabilidad de la agricultura. En AAPRESID (ed.), Rotación de cultivos en siembra directa, Publicaciones Técnicas por Cultivo, AAPRESID, Rosario, Santa Fe pp. 17-22.
- Quiroga, A.R., Funaro, D., Fernández, R. 2005. Propiedades edáficas en molisoles bajo siembra directa. EEA Anguil. Aspectos del manejo de los suelos en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana. Boletín de Divulgación Técnica N° 87: 3 -16.
- Quiroga, A., Ormeño, O., y Peineman, N. 2001. Materia orgánica: un indicador de la calidad de los suelos relacionado con la productividad de los cultivos. Boletín Divulgación Técnica 70, EEA INTA Anguil, 28 pp.
- Quiroga, A.R., Buschiazio, D.E., Peinemann, N. 1998. Management discriminant properties in semiarid soils. *Soil Science* 163, 591-597.
- Quiroga, A.R., Buschiazio, D.E., Peinemann, N. 1996. Soil organic matter particle size fraction in soils of the semiarid Argentinian pampas. *Soil Science* 161, 104-108.

- Restovich, S. B., Andriulo, A. E., & Portela, S. I. (2012). Introduction of cover crops in a maize–soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field crops research*, 128, 62-70.
- Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K., Doran, J.W. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of American Journal* 62, 1367-1377.
- Zorzín, J., C Cazorla, T Baigorria, D Santos Sbuscio, V Pegoraro. Reemplazo de barbechos invernales por alternativas más sustentables: trigo y cultivos de cobertura. Revista técnica cultivos invernales. AAPRESID, 22 de Abril del 2015.