



EFEECTO DE 45 AÑOS DE SECUENCIAS DE CULTIVOS SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, BIOLÓGICAS DEL SUELO

Gudelj, O.E.¹, M.B. Conde¹, J. Ortiz¹, V.S. Faggioli¹, C.A. Lorenzon¹, L.A. Pereyra¹, V.J. Gudelj¹

¹ EEA INTA Marcos Juárez; Ruta Provincial 12, km 3, (2580) Marcos Juárez, Prov. de Córdoba. Argentina, gudelj.olga@inta.gob.ar

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes secuencias de cultivos sobre propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a los 45 años de continuidad de las mismas. Se analizó un experimento iniciado en 1975 (suelo Argiudol típico), con 11 secuencias de cultivos distribuidas según un diseño en bloques completos aleatorizados y dos repeticiones: soja-soja (S-S), maíz-maíz (M-M), Sorgo-Sorgo (So-So), girasol-girasol (G-G), trigo-trigo (T-T), girasol-soja (G-S), soja-sorgo (S-So), trigo/soja (T/S), soja-maíz (S-M), trigo/soja-soja (T/S-S) y maíz-trigo/soja (M-T/S). Se estudió también un suelo de referencia (SR). Los cultivos se realizaron desde el inicio del ensayo empleando labranzas, y en siembra directa (SD) sólo para soja de segunda. En 1986 se incorpora el cultivo de girasol y a partir del ciclo 1992/93 todos los cultivos se hacen en SD y se introduce el subfactor fertilidad. Los muestreos (0-10cm) se realizaron en la estación estival de 2020 en la parte fertilizada, con excepción de MT/S, que se hicieron también en la parte no fertilizada. Las variables medidas fueron: estabilidad de agregados (EA) (De Leenheer- De Boodt), materia orgánica total (MOT), pH, conductividad eléctrica (CE) y glomalinas. El SR presentó la mejor condición diferenciándose de las demás secuencias en casi todas las propiedades estudiadas. Los tratamientos SoSo, MT/S y T/S fueron los que más se acidificaron. La peor condición de EA se observó en los monocultivos de soja y sorgo y también SSo y SM. En general los tratamientos con trigo en su secuencia tuvieron buena EA. La MOT no alcanzó a mostrar diferencias claras entre secuencias. En esta oportunidad no se observaron correlaciones entre las variables analizadas. Los mejores resultados obtenidos en GG ponen de manifiesto el efecto sobre el suelo de la extracción por parte de los granos, dado que en este tratamiento la cosecha se realizó por muestreo quedando el 94% en la parcela. El factor fertilización medido en el tratamiento MT/S sólo mostró efecto sobre el pH.

PALABRAS CLAVE: ensayo de larga duración, secuencias de cultivos, propiedades edáficas.

INTRODUCCIÓN

En relación a la sustentabilidad del recurso suelo en la pampa húmeda Argentina existe un amplio consenso entre los investigadores acerca de la importancia de la realización de siembra directa (SD) con secuencias que integren la mayor cantidad de cultivos y una fertilización balanceada, en contraposición a planteos de monocultivos. Lattanzi (1989), informó que en dicha región las secuencias maíz-soja y trigo/soja-maíz son las más indicadas para la producción de un cultivo anual y de tres cultivos cada dos años respectivamente, siendo la conservación del suelo favorecida por una mayor cobertura y aportes de residuos al suelo, derivados de los cultivos de maíz y trigo. Novelli *et al.* (2011) informaron que una alta frecuencia de cultivo de soja puede afectar el almacenamiento de carbono orgánico del suelo en un Mollisol. Según Mémoli (2011), aumentar la proporción de gramíneas en el esquema de



rotación conlleva a aumentar el aporte de carbono, con lo cual se mejoran los niveles de materia orgánica del suelo (MOS). Echeverría *et al.* (2012) observaron vinculación entre la estabilidad de agregados (EA) y el periodo de ocupación de los cultivos. Castiglioni *et al.* (2013) evaluaron tres diferentes suelos de la región pampeana bajo SD con preponderancia de soja en la secuencia de cultivos respecto de aquellos donde la secuencia de cultivos fue más equilibrada en cuanto a gramíneas y leguminosas. Estos autores concluyeron que el incremento en la proporción del cultivo de soja en la secuencia agrícola tiene efectos perjudiciales sobre las propiedades físicas del suelo, e informaron que en el suelo de Bengolea la EA fue un buen parámetro para distinguir entre las secuencias de cultivos estudiadas. La glomalina es una glicoproteína producida en las hifas de hongos micorrízicos arbusculares (AMF) (Wright *et al.*, 1996). Esta proteína es muy estable en el suelo y puede representar en el largo plazo almacenamiento de C y N en la MOS (Reyna & Wall, 2013), por lo que actúa como un cementante de partículas de suelo y su concentración se asocia a la EA. Grümberg *et al.* (2010) hallaron correlación positiva y significativa entre este bioindicador y el contenido de C total, N total y S inorgánico en el suelo y también encontraron correlación positiva y significativa entre el contenido de glomalinas y el rendimiento del cultivo de maíz. Martínez *et al.* (2013), consideraron que dado el efecto benéfico de prácticas de manejo que incrementan el aporte de residuos, la influencia positiva de estos sobre el contenido de CO₂, y su relación con la calidad del suelo, resulta de interés el estudio de los indicadores de calidad física evaluados a más largo plazo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes secuencias de cultivos sobre propiedades física, químicas y biológicas del suelo, al cabo de 45 años de continuidad de las mismas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El suelo estudiado es un Argiudol típico, Serie Marcos Juárez. El mismo es oscuro, profundo y bien drenado de lomas casi planas, desarrollado sobre un sedimento loésico de textura franco limosa. El clima es templado húmedo, con una temperatura media anual de 16.9 °C y una precipitación media anual de 894 mm anuales, concentrada en los meses estivales (INTA, 1978). El ensayo analizado se inició en la Estación Experimental del INTA Marcos Juárez (32° 71' Lat S; 62° 10' Long. W) en 1975 para evaluar el efecto sobre las propiedades del suelo de distintas secuencias de cultivos y sistemas de labranzas: reducida (LR), convencional (LC) y siembra directa (SD), ésta última sólo en soja de segunda. En 1983, se unificó el sistema de labranza, todos los cultivos comenzaron a implantarse con LR salvo la soja de segunda que continuó en SD. En 1986/87 se incorporó el cultivo de girasol en las rotaciones y a partir del ciclo 1992/93 se comienza a hacer SD en todos los cultivos y se plantea el factor fertilidad como subfactor. El diseño del ensayo de larga duración es en bloques completos aleatorizados con 11 secuencias de cultivo, que se plasman en 16 tratamientos para que todos los años estén todos los cultivos, y dos repeticiones. Cada parcela de 90 m de largo por 14.5 m de ancho, está dividida en dos subparcelas de las cuales una recibe una dosis de fertilización a la siembra de cada cultivo. Vale aclarar que, dado que no se contaba con la cosechadora específica, y que se producían pérdidas por ataque de los pájaros, el cultivo de girasol era cosechado por muestreo (10 m x 2 surcos x 3 sitios x nivel de fertilización), luego se desgranaba en forma manual y se pesaba. Lo que quedaba en la parcela se picaba con hélice. El muestreo de suelo se realizó al azar en la época estival de 2020 en la parte fertilizada de las secuencias: soja-soja (S-S), maíz-maíz (M-M), sorgo-sorgo (So-So), girasol-girasol (G-G), trigo-trigo (T-T), girasol-soja (G-S), soja-sorgo (S-So), trigo/soja (T/S), soja-maíz (S-M), trigo/soja-soja (T/S-S) y maíz-trigo/soja (M-T/S); en esta última secuencia también se extrajeron muestras de la parte no fertilizada de la unidad experimental. Las variables analizadas fueron: EA, materia orgánica total (MOT), pH, conductividad eléctrica (CE) y glomalinas. Para medir EA se tomaron tres muestras por unidad experimental con un espesor de 10 cm del horizonte A. El material se desmenuzó cuidadosamente a mano y se secó al aire en laboratorio. Se utilizó la metodología de cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP)

propuesta por De Boodt-De Leenheer (1958), la que contempla agregados entre 8 y 2 mm de diámetro. Para obtener el índice de estabilidad relativo (IER) se relacionó el suelo estudiado con un suelo de la misma serie de más de 50 años con cobertura permanente de gramíneas sometidas a cortes periódicos, situación que se nombró como suelo de referencia (SR). Para el mismo espesor se tomaron muestras compuestas de quince sub-muestras por unidad experimental, para determinación de: MOT por el método de Walkley Black (1934), pH del suelo medido a una relación suelo agua 1:2,5 (IRAM 29410, 1999), CE por conductímetro en solución suelo-agua 1:2,5 y proteínas fácilmente extraíbles reactivas a Bradford, comúnmente denominadas “glomalininas” (Wright & Upadhyaya, 1999). Las variables se analizaron con modelos lineales mixtos, teniendo en cuenta los tratamientos como efectos fijos y a los bloques como aleatorios. Se compararon las medias con test de comparaciones múltiples Lsd de Fisher al 5%. Se hizo un análisis de componentes principales (ACP) con las variables de estudio. Se utilizó el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se presentan los valores medios de CDMP, IER, MOT, pH, CE y Glomalinas, obtenidos en los distintos tratamientos estudiados y en el suelo de referencia.

Tabla 1: Valores medios de las variables físico-químicas y biológicas (0-10 cm) medidas luego de 45 años continuidad de diferentes secuencias de cultivos y en suelo de referencia.

Tratamiento	CDMP (mm)	IER (%)	MOT (%)	pH	CE (mS/cm)	Glomalinas ($\mu\text{g prot g}^{-1}$)
SSo	1,10 a	20	3,48 bc	5,25 bc	0,18 d	270,42 c
SS	0,97 ab	23	3,33 bc	5,30 bc	0,19 cd	328,96 c
SM	0,90 bc	24	3,46 bc	5,28 bc	0,18 d	543,85 b
SoSo	0,86 bcd	26	3,44 bc	5,05 c	0,17 d	182,81 c
MM	0,78 cde	28	3,79 bc	5,20 bc	0,21 bcd	189,50 c
T/SS	0,76 de	29	3,64 bc	5,38 b	0,19 cd	212,56 c
GS	0,75 de	29	3,33 c	5,85 a	0,22 bc	192,84 c
TT	0,66 ef	33	3,62 bc	5,30 bc	0,22 bc	185,49 c
MT/S	0,65 ef	34	3,71 bc	5,05 c	0,19 cd	326,47 c
T/S	0,58 fg	38	3,82 b	5,00 c	0,19 cd	218,92 c
GG	0,50 g	44	3,80 b	6,10 a	0,24 b	631,93 b
SR	0,22 h	100	4,81 a	5,90 a	0,30 a	840,26 a

Letras diferentes dentro de una misma columna indica diferencias estadísticas significativas (LSD, p-valor ≤ 0.0001). CDMP: cambio en el diámetro medio ponderado. IER: índice de estabilidad relativo. MOT: materia orgánica total. pH: potencial hidrogeno. CE: conductividad eléctrica. Glomalinas: compuestos proteicos reactivos a Bradford. SR (suelo de referencia), SS (soja-soja), MM (maíz-maíz), So-So (Sorgo-Sorgo), GG (girasol-girasol), TT (trigo-trigo), GS (girasol-soja), SSo (soja-sorgo), T/S (trigo/soja), SM (soja-maíz), T/S-S (trigo/soja-soja) y M-T/S (maíz-trigo/soja).

El SR expresó la mejor condición físico-química biológica del suelo y se diferenció estadísticamente de los tratamientos analizados en todas las variables estudiadas, con excepción del pH, que fue similar a GG. Las secuencias TT, MT/S, T/S y GG tendieron a tener mejor EA, aunque no alcanzaron a diferenciarse entre sí estadísticamente, excepto GG que presentó el mejor valor de EA diferenciándose de todos los tratamientos salvo de T/S. Todas las secuencias se correspondieron con valores de MOT similares entre sí, aunque en GG y T/S los valores de MOT tendieron a ser más altos (3,8 % en promedio) diferenciándose de GS con un valor más bajo (3,3 %). También se puede apreciar que GG y T/S expresaron una muy buena EA, alcanzando un IER de 44 y 38%, respectivamente, y diferente de GS donde se midió un IER del 29%, es decir una EA no satisfactoria. Aparicio y Costa (2007) determinaron que el CDMP fue el único parámetro físico relacionado al número de años bajo cultivos continuos y estimaron para un suelo Argiudol típico del sudoeste de la provincia de Buenos Aires valores de 45% de estabilidad estructural en parcelas con rotación de cultivos y SD.

La concentración promedio más alta de glomalinas halladas en el presente estudio correspondió al SR (840,26 $\mu\text{g prot g de suelo}^{-1}$), situación que se diferenció estadísticamente de las secuencias de cultivos analizadas. Sólo en las secuencias GG y SM se hallaron valores de glomalinas cercanos al SR, las cuales se diferenciaron de las otras situaciones evaluadas, en las que se midió en promedio 234,22 $\mu\text{g prot. g de suelo}^{-1}$. La mayor concentración de glomalinas hallada en la secuencia SM no se expresó en mejor EA del suelo.

En general se apreció acidificación del suelo en casi todas las secuencias, con excepción de GG y GS donde se obtuvieron los valores más altos de pH, similar al obtenido en el SR. En tanto que los valores más bajos de pH se midieron SoSo, MT/S y T/S (valor promedio 5,0). Procesos de acidificación de los suelos de la región pampeana debido a la producción agrícola continua fueron reportados por varios autores (Gudelj, et al., 2010; Vazquez, 2012; Machetti, et al., 2016). Es preciso remarcar que el tratamiento GG se vio beneficiado dado que como se especificó anteriormente se cosechaba por muestreo y todos los residuos quedaban en el terreno.

Si bien se apreciaron diferencias estadísticas significativas entre algunas secuencias, en todos los casos los valores de CE estuvieron por debajo del valor considerado crítico para el suelo analizado.

Para evaluar exploratoriamente la contribución de las variables medidas en la variación de los resultados obtenidos en las distintas secuencias de cultivos se realizó un análisis de componentes principales (Figura 1). Los ejes explicaron 78% de la variabilidad total (CP1 51% y CP2 27%). Se observó que los mayores valores de MOT se asociaron con las rotaciones TS, MT/S, MM, T/SS y TT. Las glomalinas, pH y CE, se asociaron más a los tratamientos GS y GG. Finalmente, el CDMP se asoció con los tratamientos SS, SM y SSo, indicando una EA más débil en los mismos respecto de las demás secuencias.

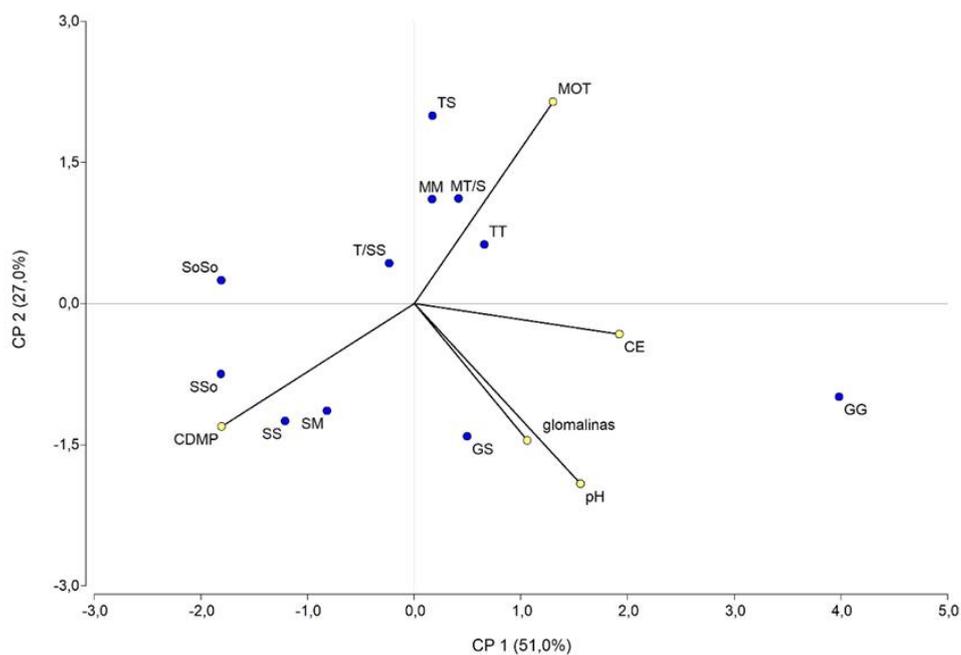


Figura 1: Análisis de componentes principales de las variables CDMP, MOT, pH, CE y glomalinas, y las secuencias. CDMP: cambio en el diámetro medio ponderado, MOT: materia orgánica total, pH: potencial hidrogeno, CE: conductividad eléctrica, glomalinas: compuestos proteicos reactivos a Bradford; y las secuencias: SS (soja-soja), MM (maíz-maíz), So-So (Sorgo-Sorgo), GG (girasol-girasol), TT (trigo-trigo), GS (girasol-soja), SSo (soja-sorgo), T/S (trigo/soja), SM (soja-maíz), T/S-S (trigo/soja-soja) y M-T/S (maíz-trigo/soja).

El factor fertilización analizado en la secuencia M-T/S, sólo marcó efecto sobre el pH. Los valores obtenidos fueron 5,45 para M-T/S no fertilizado y 5,05 para la misma secuencia fertilizada, diferenciándose estadísticamente entre sí (Lsd de Fisher, $\alpha = 0,05$). Martinez et al

(2020) reportaron que la EA medida en 0-10 cm a través del CDPM en suelo Argiudol típico no registró diferencias significativas por efecto de la fertilización de soja con P y S, inclusión de CC o rotación de alto índice de intensificación de las secuencias de cultivos (ISI) fertilizada con N, P y S: maíz - trigo/soja 2° - CC/soja, y lo atribuyeron al corto periodo (4 años) de desarrollo de las secuencias. Sin embargo, Gudelj *et al.* (2010), al evaluar distintos tratamientos de fertilización en la secuencia maíz-trigo/soja encontraron una relación directa entre la acidez del suelo y la EA. A medida que aumentó la fertilización, aumentó la acidez y disminuyó la EA.

CONCLUSIONES

El SR presentó la mejor condición y se diferenció de todas las secuencias evaluadas para casi todas las propiedades estudiadas. Los tratamientos SoSo, MT/S y T/S fueron los que más se acidificaron. La peor condición de EA se observó en los monocultivos de soja y sorgo y también en las secuencias SSo y SM. En general los tratamientos con trigo en su secuencia tuvieron buena EA. La MOT no alcanzó a mostrar diferencias claras entre secuencias. En esta oportunidad no se observaron correlaciones entre las variables analizadas. Los mejores resultados obtenidos en la secuencia GG ponen de manifiesto el efecto sobre el suelo de la extracción por parte de los granos, dado que en este tratamiento la cosecha se realizaba por muestreo quedando el 94% en la parcela, lo cual se picaba antes de la implantación del siguiente cultivo. El factor fertilización medido en el tratamiento MT/S sólo mostró efecto sobre el pH

BIBLIOGRAFIA

- Aparicio, V & JL Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil & Tillage Research* 96, 155-165.
- Castiglioni, MG; F Behrends Kraemer & HJM Morrás. 2013. Efecto de la secuencia de cultivos bajo siembra directa sobre la calidad de algunos suelos de la Región Pampeana. *Ciencia del Suelo*, Vol. 31 N°1. 93-105.
- De Leenheer, L & M De Boodt. 1958. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. *Inter Sysmp. On soil structure*. Medeligen. Rykskandbouwhogesehool, Gent. Belgie, 24: 290-300.
- DI Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Echeverría, N; S Querejazú; M De Lucia; J Silenzi; H Forjan & M Manso. 2012. Estabilidad y carbono orgánico de agregados bajo rotaciones en siembra directa. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. Argentina.
- Gudelj, VJ; H Ghio; O Gudelj; C Galarza; G Spoturno; P Vallone; B Masiero; M Boll & F García. 2010. Efecto de reposición de nutrientes sobre el rendimiento, y algunas propiedades del suelo. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentina.
- Grümborg, B; C Conforto; A Rovea; M Boxler; G March; C Luna; J Meriles & S Vargas Gil. 2010. La glomalina y su relación con la productividad del cultivo de maíz. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. N° 47. Pp. 23-26.
- INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1978. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3363-17. Marcos Juárez. Pp. 29-30.
- IRAM. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. 1999. Norma 29 410. Determinación del pH.
- Lattanzi, AR. 1989. Secuencias de cultivos y sistemas de labranzas conservacionistas para la producción de soja. IV Conferencia Mundial de Investigación en Soja. Actas. 5-9 de marzo. Buenos Aires. Argentina. Tomo IV. Editor AJ Pascale. 2010-2015.
- Lattanzi, A; J Arce; HJ Marelli; C Lorenzon & T Baigorria. 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. XIII Congreso de Aapresid. El futuro y los cambios de paradigma. Pp. 61-67.
- Machetti, N; S Ribadulla; P Gelati; N Zacarias; D Benardi; A Diaz Gorostegui; M Clausi; D Cosentino & M Vázquez. 2016. Efecto del encalado sobre propiedades físicas y químicas en un Hapludol Thaptoárgico de región pampeana. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rio Cuarto. Argentina. Pp. 78.
- Martinez, JP; C Crespo; MT Cuervo; HR Sainz Rozas; HE Echeverría; F Martinez; G Cordon & PA Barbieri. 2020. Secuencias de cultivos con predominio de soja: efecto sobre indicadores de calidad física del suelo. *Cienc. Suelo (Argentina)* 38(2): 224-235.
- Mémoli, J & M Toribio. 2011. Rotación de cultivos. Camino a la sustentabilidad. Profertil. Departamento de Investigación y Desarrollo. Número 19. 1-11.
- Novelli, LE; OP Caviglia & RJM Melchiori. 2011. Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. *Geoderma*: 167-168: 254-260.
- Reyna, DL & LG Wall. 2014. Revision of two colorimetric methods to quantify glomalin- related compounds in soils subjected to different managements. *Biol Fertil Soils* (2014) 50:395-400.
- Vázquez, M; A Terminiello; A Casciani; G Millán; D Cánova; P Gelati; F Guilino; A Dorrnzoro; Z Nicora; L Lamarche & M García. 2012. Respuesta de la soja (*glicine max l. merr*) a enmiendas básicas en suelos de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. *Ci. Suelo (Argentina)* - 30(1): 43-55.
- Walkley Black. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and proponed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.
- Wright, SF & A Upadhyaya. 1999. Quantification of arbuscular mycorrhizal fungi activity by the glomalin concentration on hyphal traps. *Mycorrhiza* 8(5): 283–285.