



XXIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Suelos... Huellas del pasado, desafíos del futuro

San Fernando del Valle de Catamarca,
Prov. de Catamarca, Argentina
21 al 24 de mayo de 2024



15 AÑOS DE SOJA CONTINUA, ROTACIONES, CULTIVO DE COBERTURA Y FERTILIZACIÓN: EFECTO EN INDICADORES EDÁFICOS

Gudelj, O.E., M.B. Conde, C.A. Lorenzon, M.B. Aimetta, L.A. Pereyra, R.D. Seravalle y
V.J. Gudelj

INTA EEA Marcos Juárez. Ruta Provincial N°12 km 33, (2580) Marcos Juárez, Prov. de
Córdoba, gudelj.olga@inta.gob.ar

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar a los 15 años, el efecto del monocultivo de soja y secuencias agrícolas con predominio de soja, cultivo de cobertura (CC) (Triticale) y gramíneas, bajo diferentes formas de fertilización, sobre indicadores edáficos. El experimento ubicado en INTA Marcos Juárez (suelo Argiudol típico) tuvo un diseño de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos fueron: soja sin fertilización (S s/f); soja con fertilización de reposición de P y S (S c/f P y S); CC/soja ambos sin fertilización (CC/S s/f); CC/soja con fertilización de P y S (CC/S c/f P y S); CC fertilizado con N/soja con fertilización de reposición de P y S. (CC c/fN / S c/f P y S), CC fertilizado con N / soja con reposición de P y S, en secuencia de 3 años con maíz y trigo/soja con NPS (SEC) y trigo/soja (T/S). Se estudió (0-10cm): estabilidad de agregados (EA), materia orgánica (MO) y pH, densidad aparente (DA) a los 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 y 20-25cm de profundidad, resistencia a la penetración (RP) e infiltración. Se realizó análisis de variancias a través de modelos lineales mixtos, y se compararon las medias con el test LSD de Fisher (5%). Los muestreos se realizaron en otoño con humedad de suelo cercana a capacidad de campo. El monocultivo de soja expresó una débil EA, acorde con menor contenido de MO, y esto determinó para este sistema agrícola la menor infiltración. La DA del suelo con valores críticos se halló en 10-15cm en casi todos los tratamientos, no apreciándose efecto del CC sobre la densificación. Si bien se valoraron diferencias estadísticas en RP entre las situaciones analizadas, en ningún caso se registró el valor crítico. El valor máximo de RP se midió en el monocultivo de soja.

Palabras clave: monocultivo de soja, cultivo de cobertura, propiedades físico-químicas.

INTRODUCCIÓN

En Argentina la superficie sembrada con soja (*Glycine max* (L.) Merr.) supera ampliamente a la de otros cultivos como maíz (*Zea mays* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.) (MINAGRI, 2024). Este mayor predominio del cultivo de soja indica mayor frecuencia del mismo en las rotaciones agrícolas, y también la realización de monocultivos. Dicha práctica se caracteriza por menor aporte de cobertura al suelo luego de su cosecha, condición que incide en la calidad del mismo con consecuencias negativas para la producción. Novelli, *et al* (2011) informaron que una alta frecuencia de cultivo de soja puede afectar gravemente el almacenamiento de C orgánico del suelo en el Molisol. Castiglioni *et al.* (2013) reportaron que el incremento en la proporción del cultivo de soja en la secuencia agrícola tiene efectos perjudiciales sobre las propiedades físicas del suelo. Gudelj, *et al* (2022), tras 44 años de monocultivo de soja bajo siembra directa (SD) en suelo Argiudol típico, hallaron una pérdida de la estabilidad de agregados (EA) en relación al suelo de referencia del 79%. Las secuencias de cultivos que incluyen gramíneas y leguminosas permiten aportar altas cantidades de C que puede ser mayor aun cuando los mismos se fertilizan (Gudelj, *et al.*, 2018). La intensificación de secuencias agrícolas a través

Organizado por:



de la incorporación de cultivos dobles, cultivos de cobertura (CC) y/o la fertilización de cultivos, surge como una alternativa para disminuir y/o revertir la degradación de los suelos (Crespo, 2021). González, et al (2017) demostraron que los CC constituyen una herramienta útil para mejorar la estructuración del suelo. La materia orgánica (MO) afecta la retención de agua en forma directa ya que puede absorber agua hasta 20 veces su peso e indirectamente al afectar la agregación del suelo y, por ende, la porosidad total (Picone, 2015). La reacción del suelo, medida a través del pH influye en los procesos físicos-químicos y biológicos del mismo. La EA, la densidad aparente (DA), la resistencia a la penetración (RP) y la infiltración son algunos de los indicadores físicos comúnmente considerados para apreciar los efectos del manejo sobre la estructura del suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar luego de 15 años de continuidad, el efecto del monocultivo de soja y otras secuencias con predominio de soja, incluyendo CC y gramíneas, y la fertilización, sobre indicadores edáficos de calidad.

MAERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en un experimento de larga duración iniciado en 2006 en un lote de la EEA INTA Marcos Juárez (32°43'13" S - 62°06'14" O) con 50 años de agricultura continua y 20 de SD. El suelo es un Argiudol típico (Serie Marcos Juárez) de textura superficial franco-limosa con 25,1% de arcilla; 68,9% de limo; 5,4% de arena muy fina y 0,6% de arena fina (INTA, 1978). El diseño experimental fue de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, unidad experimental (9,40 m x 30m). Los tratamientos fueron: soja sin fertilización (S s/f); soja con fertilización de reposición de P y S (S c/f P y S); CC/soja ambos sin fertilización (CC/S s/f); CC/soja con fertilización de P y S (CC/S c/f P y S); CC fertilizado con N/soja con fertilización de reposición de P y S. (CC c/f N /S c/f P y S), CC fertilizado con N/soja con reposición de P y S, en secuencia de 3 años con maíz y trigo/soja con NPS (SEC), repitiéndose todos los cultivos cada año, y trigo/soja (T/S). Se utilizó Triticale (*Triticum secale*) como CC previo a soja. A los 15 años de continuidad se realizaron los muestreos en otoño con humedad de suelo cercana a capacidad de campo. Para la determinación de la estabilidad estructural (EE) se extrajeron 9 muestras (0-10 cm) por tratamiento y se estimó la EA mediante el método de cambio en el diámetro medio ponderado (CDMP) de De Leenheer-De Boodt, (1958), el resultado se expresó en milímetro de CDMP (a menor CDMP mejor EA). A su vez, se midió DA por el método del cilindro de volumen conocido (Blake & Hartge, 1986), utilizando un sistema hidráulico se extrajeron 6 muestras por tratamiento en las siguientes profundidades: 0-5; 5-10; 10-15; 15-20 y 20-25 cm; la medición de RP se realizó con un penetrómetro digital (Eijkelkamp penetrolgger 2000), se tomaron 10 mediciones en cada repetición por tratamiento. Las lecturas de RP fueron registradas centímetro por centímetro hasta 80 cm de profundidad y expresadas en megapascal (MPa). Para evaluar infiltración se utilizaron infiltrómetros de anillo simple (Perroux & White,1988), realizándose cuatro mediciones por unidad experimental por tratamiento. La infiltración básica (Ib) se obtuvo considerando las tres últimas lecturas (valores constantes de cada medición). Además, se tomaron muestras compuestas de 15 submuestras (0-10 cm) para la determinación de materia orgánica (MO) por el método Walkley Black (1934), y pH del suelo medido a una relación suelo agua 1:2,5 (IRAM 29410,1999). Se realizó un análisis de variancias a través de modelos lineales mixtos, y se compararon las medias con el test LSD de Fisher (5%).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables EA, MO y pH, se mostraron sensibles a las distintas situaciones analizadas (Tabla 1). S s/f expresó una débil EA, acorde con menor contenido de MO, diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos. Esto concuerda con los resultados presentados a los 10 años de continuidad del mismo experimento, tanto por Gudelj, et al (2018), como por Crespo (2021). A su vez, entre los otros tratamientos, CC en secuencia con soja, ambos fertilizados, tuvo el mayor tenor orgánico y se diferenció significativamente de la secuencia T/S. En cuanto a pH, los valores hallados en todos los tratamientos medidos están dentro del rango de pH óptimo informado por Piccone (2014). Se determinó un efecto de las secuencias

en el pH del suelo. T/S presentó el menor valor promedio de pH, acercándose a 5,5, valor umbral indicado por Tisdale *et al.* (1993) para definir suelos ácidos, aunque no alcanzó a diferenciarse de SEC y CC-S ambos fertilizados. Esa mayor acidez del suelo en estos tratamientos pudo haber afectado indirectamente a la EA, teniendo en cuenta lo expresado por Gudelj, *et al.*, 2010 al analizar diferentes tratamientos de reposición de nutrientes. En el experimento que se analiza, si bien los resultados de EA en los tratamientos que incluyeron gramíneas y leguminosas con fertilización fueron mejores que el monocultivo de soja, hubiera sido esperable una más alta estabilidad en los mismos ya que estos proporcionan mayor volumen de rastrojo y por consiguiente mayor aporte de C al suelo. El menor contenido de MO en S s/f podría explicar la menor EA que presentó este tratamiento.

Tabla 1: Valores medios de CDMP: cambio en el diámetro medio ponderado, MO: materia orgánica y pH: potencial hidrogeno, para 0-10cm, a los 15 años de continuidad de los tratamientos: S s/f: soja sin fertilización, CC/S s/f: cultivo de cobertura/soja sin fertilización, CC c/f N / S c/f P y S: cultivo de cobertura con fertilización de N/soja con fertilización de P y S, SEC: cultivo de cobertura fertilizado con N/soja con reposición de P y S en secuencia de 3 años con maíz y trigo/soja con NPS, y T/S: trigo/soja. Letras diferentes dentro de una misma fila indican diferencias estadísticas significativas, CDMP ($p < 0,001$), MO ($p < 0,0041$), pH ($p < 0,0480$).

Variable	Tratamientos				
	S s/f	CC/S s/f	CC c/fN-S c/f P y S	SEC	T/S
CDMP (mm)	1,35 a	0,93 c	1,03 bc	1,13 b	1,07 bc
MO (%)	2,53 c	3,78 ab	3,87 a	3,52 ab	3,38 b
pH	5,97 a	5,90 ab	5,63 abc	5,56 bc	5,50 c

DENSIDAD APARENTE

Tabla 2: Valores medios de densidad aparente (DA) luego de 15 años de continuidad de los tratamientos: S s/f: soja sin fertilización, S c/f P y S: soja con fertilización de P y S, CC/S s/f: cultivo de cobertura/soja sin fertilización, CC c/f N / S c/f P y S: cultivo de cobertura con fertilización de N/soja con fertilización de P y S, SEC: cultivo de cobertura fertilizado con N/soja con reposición de P y S en secuencia de 3 años con maíz y trigo/soja con NPS, y T/S: trigo/soja. Letras diferentes dentro de una misma columna indica diferencias estadísticas significativas.

Tratamiento	Profundidad (cm)				
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25
	Densidad Aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)				
S s/f	1,11 a	1,32 b	1,38 ab	1,36 b	1,34a
S c/f P y S	1,14 a	1,30 b	1,39 a	1,36 b	1,36a
CC/S s/f	1,16 a	1,40 a	1,43 a	1,37 ab	1,32a
CC/ S c/f P y S	1,19 a	1,38 a	1,40 a	1,36 b	1,34a
CCc/fN-Sc/fPyS	1,11 a	1,35 ab	1,40 a	1,39 ab	1,36a
SEC	1,12 a	1,38 a	1,40 a	1,40 a	1,35a
T/S	1,15 a	1,35 ab	1,33 b	1,36 b	1,32a
valor p	0.6320	0.0057	0.0391	0.0292	0.3905

El análisis de varianza entre las secuencias mostró diferencias significativas en las profundidades 5-10cm ($p < 0.0057$), 10-15cm ($p < 0.0391$) y 15-20cm ($p < 0,0292$) (Tabla 2). En 5-10cm, las secuencias con CC fueron más densas. En 10-15cm los valores hallados en casi todas las secuencias analizadas tendieron a ser elevados y se acercaron al punto crítico ($1,4-1,5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) de acuerdo a Griffith *et al.*, 1977; salvo T/S que tuvo el menor valor de DA ($1,33 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) diferenciándose de todos los otros tratamientos excepto de S s/f. Para 15-20 cm se apreció mayor densificación en SEC, CC/S s/f y CCc/fN/Sc/fPyS. El CC no tuvo un efecto de

disminución de la densificación, esto ya se había distinguido a los 10 años de continuidad del experimento (Gudelj *et al.*, 2018). Se observa también que el factor fertilización no incidió en esta variable. En este sentido, Crespo (2021) informó que el efecto puro de la fertilización de monocultivo no produjo una disminución en la DAP respecto a S sin fertilización. Varela (2011) reportó que la introducción de CC no disminuyó la DA, aunque incrementó la estabilidad del suelo ($P < 0,05$), lo cual pudo deberse a los efectos tanto de las raíces como de los residuos de los CC.

RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

Los datos de RP fueron comparados a valores de contenidos hídricos similares y cercanos a capacidad de campo (Tabla 3). El valor de RP considerado crítico para la penetración de las raíces es 2 MPa (Thereadgill, 1982).

Tabla 3: Resistencia a la penetración (RP) y valores de probabilidad del análisis de varianza (valor p), a los 15 años de continuidad de los tratamientos: S s/f: soja sin fertilización, S c/f P y S: soja con fertilización de P y S, CC/S s/f: cultivo de cobertura/soja sin fertilización, CC c/f N / S c/f P y S: cultivo de cobertura con fertilización de N/soja con fertilización de P y S, SEC: cultivo de cobertura fertilizado con N/soja con reposición de P y S en secuencia de 3 años con maíz y trigo/soja con NPS, y T/S: trigo/soja. Letras diferentes dentro de una misma columna indican diferencias estadísticas significativas.

Tratamiento	RP (MPa)				
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
S s/f	1,21 a	1,69 a	1,46 a	1,21 a	1,18 b
S c/f P y S	1,01 b	1,51 ab	1,59 a	1,22 a	1,25 ab
CC/S s/f	1,22 a	1,51 ab	1,44 a	1,28 a	1,38 a
CC/ S c/f P y S	1,23 a	1,51 ab	1,51 a	1,26 a	1,25 ab
CCc/fN-Sc/fPyS	1,13 ab	1,43 b	1,47 a	1,26 a	1,19 b
SEC	1,00 b	1,34 b	1,37 a	1,09 a	1,18 b
T/S	1,10 ab	1,30 b	1,27 a	1,18 a	1,14 b
valor p	0,065	0,013	0,116	0,253	0,021

El análisis de varianza apreció diferencias significativas entre tratamiento, pero en ninguna profundidad se registró el valor crítico para ninguna de las situaciones analizadas. Todos los valores medidos hasta los 80 cm estuvieron en el rango 1,69-0,28 MPa. El valor más alto de RP se midió a los 10 cm de profundidad (1,69 MPa) en la secuencia de monocultivo de soja (S s/f) y se diferenció de CCc/fN-Sc/fPyS, SEC y T/S, los cuales no fueron diferentes entre sí, y presentaron en promedio 1,36 MPa de RP. En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos a los 5, 10, 15, 20 y 25 cm de profundidad. Crespo (2021) informó, respecto del mismo sitio experimental a los 10 años de continuidad, que los efectos de las secuencias sobre la RP sólo fueron significativos en los primeros 5 cm, aclarando que todos los valores estuvieron por debajo de 2 MPa.

INFILTRACIÓN

El análisis estadístico diferenció los tratamientos S s/f y S c/f P y S con la menor lb (73 y 83, mm/h, respectivamente) respecto del resto de los tratamientos (lb promedio =106 mm/ha), p valor <.0001 (Figura 1). El monocultivo de soja tuvo los menores valores de infiltración, esto concuerda con la menor EA medida en esta situación, lo cual está asociado a menor estabilidad de los macroporos que componen la estructura del suelo. En este sentido, Steinbach y Alvarez (2007) expresaron que las prácticas de manejo que tiendan a incrementar ambas variables (estabilidad estructural e infiltración) determinarían condiciones edáficas más favorables para el establecimiento y crecimiento de los cultivos.

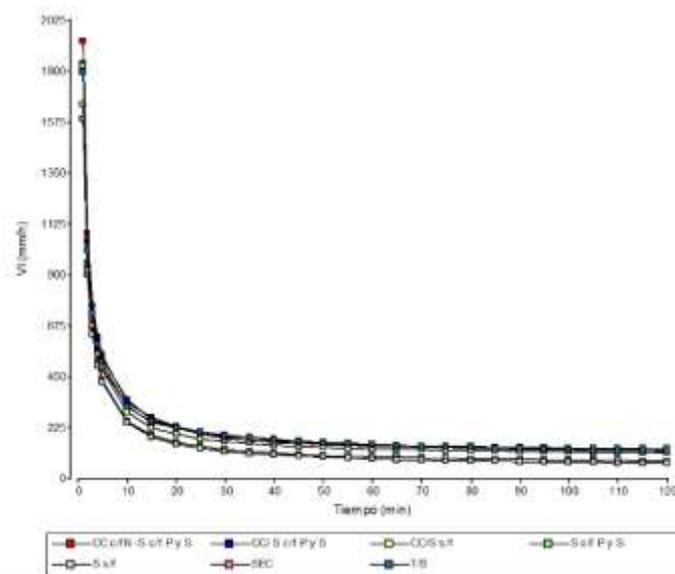


Figura 1: Curvas de velocidad de infiltración (VI) obtenidas luego de 15 años de continuidad de los tratamientos: S s/f: soja sin fertilización, S c/f P y S: soja con fertilización de P y S, CC/S s/f: cultivo de cobertura/soja sin fertilización, CC c/f N / S c/f P y S: cultivo de cobertura con fertilización de N/soja con fertilización de P y S, SEC: cultivo de cobertura fertilizado con N/soja con reposición de P y S en secuencia de 3 años con maíz y trigo/soja con NPS, y T/S: trigo/soja

CONCLUSIÓN

Luego de 15 años de continuidad, el monocultivo de soja expresó una débil EA, acorde con menor contenido de MO, y esto determinó para este sistema agrícola la menor infiltración. La densificación del suelo con valores críticos o cercanos a él se halló en 10-15cm, en casi todos los tratamientos, no apreciándose efecto del CC sobre la densificación. Si bien se apreciaron diferencias significativas en RP entre las situaciones analizadas, en ningún caso se registró el valor crítico establecido para esta variable. El valor máximo de RP se encontró en el monocultivo de soja.

BIBLIOGRAFÍA

- Blake, G.R. & K.H. Hartage. 1986. Bulk Density. In: A Klute (ed.). Methods of soil analysis, Part I. 2nd. Ed. American Society of Agronomy, Madison, Agronomy 9: 363-375.
- Castiglioni, M.G., F. Behrends Kraemer y H.J.M. 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.
- Crespo, C. 2021. Intensificación productiva en suelos con textura contrastante: efecto sobre propiedades físicas y fracciones de carbono, nitrógeno, azufre y fósforo. Trabajo de tesis para optar al título de Doctora en Ciencias Agrarias. Unidad Integrada Balcarce: Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP – Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, INTA.
- De Leenheer, L. & M. De Boodt. 1958. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. Inter Sysmp. On soil structure. Medeligen. Rykskandbouwhogesechool, Gent. Belgie, 24: 290-300.
- Gonzalez, H.M.; S.B. Restovich y S.I. Portella. 2017. Utilización de cultivos de cobertura invernales como alternativa para mejorar la estabilidad estructural del suelo. CIENC SUELO (ARGENTINA) 35(1): 1-10.
- Griffith D.R., J.V. Mannering & Wc Moldenhauer. 1977. Conservation tillage in the Eastern Corn Belt. Journal of Soil and Water Conservation, 32:20-28.
- Gudelj, O.E., M. Mauri, M.B. Conde, J. Ortiz, C.A. Lorenzon, L.A. Pereyra, V.J. Gudelj. 2022. 44 años de monocultivo de soja en diferentes sistemas de labranza: estabilidad de agregados y otras propiedades edáficas. Revista Científica Agropecuaria 25 (1): 15-24.

- Gudelj, V.J., O.E. Gudelj, M.B. Conde, C.A. Lorenzon, P.S. Vallone, C.M. Galarza. 2018. Alternativas para incrementar la sustentabilidad en secuencias basadas en el cultivo de soja. Actas de CACS, San Miguel de Tucumán.
- Gudelj, V.J., H. Ghio, O.E. Gudelj, C. Galarza, G. Espoturno, P. Vallone, B. Masiero, M. Boll y F. García. 2010. Efecto de reposición de nutrientes sobre el rendimiento, y algunas propiedades del suelo. En Actas del XXII Congreso Argentino de Ciencia de Suelo. Rosario. Santa Fe.
- INTA. (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).1978. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3363-17. Marcos Juárez. 29-30.
- IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación).1999. Norma 29 410. Determinación del pH.
- MINAGRI.2024. Direccion Nacional de Agricultura. Dirección de Estimaciones Agrícolas. Fecha de búsqueda 14/04/2024.
- Novelli, L.E., O.P. Caviglia, R.J.M. Melchiori. 2011. Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. *Geoderma* 167-168:254-260.
- Perroux, K.M. & White, I. 1988. Designs for disc permeameters. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 52 (5): 1205-1215.
- Piccone, L.I. 2015. El ambiente físico-químico del suelo relacionado con la fertilidad. pp 31-51. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Steinbach, H.S. y R. Alvarez.2007. ¿Afecta el sistema de labranza las propiedades físicas de los suelos de la Región Pampeana? *Informaciones Agronómicas* #33. Editorial: Instituto de la Potasa y El Fósforo.12p.
- Threadgill, E. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. *American Society of Agricultural and Biological Engineers.* 25:859-863.
- Varela, M.F., P.L. Fernández, G. Rubio, M.A. Taboada. Cultivos de cobertura: efectos sobre la macroporosidad y la estabilidad estructural de un suelo franco-limoso. 2011. *CI. SUELO (ARGENTINA)* 29 (1): 99-106-2011.
- 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.