



## ¿ES POSIBLE MEJORAR LA AGREGACIÓN DEL SUELO CON CULTIVOS DE COBERTURA EN EL MEDIANO PLAZO?

Bonvecchi, V.B.<sup>1\*</sup>, M.R. Petrasek<sup>1</sup>, J. Irigoín<sup>1</sup>, L. Bulos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Luján. Departamento de Tecnología. Edafología. Av Constitución y Ruta 5, (6700) Luján, \*virginiabonvecchi@gmail.com

**RESUMEN:** Si bien, la siembra directa (SD) permitió frenar la velocidad de degradación de los suelos agrícolas de la región pampeana, la simplificación de las rotaciones agrícolas con el predominio del monocultivo de soja, aceleró el proceso de degradación de los suelos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inclusión de una gramínea como cultivo de cobertura (CC) en un sistema agrícola bajo siembra directa sobre la estabilidad estructural y su relación con las distintas fracciones orgánicas precursoras de la agregación del suelo, en el mediano plazo. Se realizó un experimento a campo con un diseño en bloques completamente aleatorizado y dos tratamientos: 1-Con CC (*Avena sativa* L.), con una historia de 4 años con CC y 2-Testigo sin CC, con rastrojo del cultivo antecesor (soja). Se tomaron muestras de suelo a dos profundidades (0-5 y 5-20 cm) y se realizaron las siguientes determinaciones: Estabilidad Estructural (EE), Hidratos de Carbono Totales (HCT), Carbono Orgánico Total (COT), Glomalinas Fácilmente Extraíbles o Solubles (GS) y Glomalinas Totales (GT). Los resultados obtenidos demuestran que la incorporación del CC produjo, en el mediano plazo, incrementos en la estabilidad de la estructura y en el contenido de GS mientras que no se observaron diferencias en los contenidos de COT; HCT y GT.

**PALABRAS CLAVE:** estabilidad estructural, carbono orgánico del suelo, glomalinas

### INTRODUCCIÓN

El bajo aporte de residuos por parte del monocultivo de soja y el largo período de barbecho que deja este cultivo genera una inadecuada protección y cobertura del suelo (Varela *et al.*, 2011). Esta situación induce a una mayor fragilidad del suelo frente a los procesos erosivos, un balance negativo del carbono orgánico del suelo y consecuentemente el deterioro de la macroagregación por pérdida de estabilidad estructural (Studdert y Echeverría, 2000). En este contexto, la incorporación de CC en las rotaciones agrícolas es una práctica que está en expansión debido a los múltiples beneficios que la promueven. Estos CC no tienen como fin ser cosechados, sino están orientados a brindar servicios ambientales que contribuyan a sustentar la producción agrícola en el largo plazo. Por lo tanto, lograr una mejora en la condición física de los suelos a partir de la inclusión de los CC representa un eslabón clave para promover estos servicios ambientales.

La estabilidad de los agregados es considerada uno de los principales indicadores para determinar el estado de la estructura del suelo (Six *et al.*, 2004). El diámetro medio ponderado (DMP), es la variable que mide la EE. Ésta depende de la textura, la mineralogía de las arcillas, la actividad microbiana y sus exudados, el contenido de materia orgánica del suelo (MOS), así como también del uso y manejo del suelo. Existen controversias respecto del papel de la MOS en relación con la EE, especialmente cuando no se analizan sus fracciones orgánicas más activas. En este sentido, Liu *et al.*, (2005) encontraron que la inclusión de un CC mejoró la EE y se relacionó con la cantidad de materiales orgánicos incorporados al suelo y la producción de agentes de agregación como polisacáridos (Carrizo *et al.*, 2015). La glomalina producida por los hongos micorrízicos arbusculares también ha mostrado tener una buena relación con la EE (Gonzalez *et al.*, 2017). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inclusión de una gramínea como CC en un sistema agrícola simplificado bajo siembra

Organizado por:

1319



directa sobre la estabilidad estructural y su relación con las distintas fracciones orgánicas precursoras de la agregación del suelo, en el mediano plazo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

*Sitio del experimento y muestreo.* Se realizó un experimento a campo en el establecimiento "La Fe", partido de San Antonio de Areco Pcia. Buenos Aires (34°12'19.6" S 59°32'45.2" O), sobre parcelas con 4 años de avena como cultivo de cobertura en una rotación soja/maíz en siembra directa. El suelo es un Argiudol abruptico, fino, illítico y térmico (Soil Taxonomy, 2014). El diseño fue en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones en parcelas de 120 m<sup>2</sup> (8m x 15m). Los tratamientos fueron: 1- con CC y 2- sin CC (Testigo), con rastrojo del cultivo antecesor (soja). El CC utilizado fue una avena (*Avena sativa* L.), sembrada en el mes de junio. La terminación del ciclo del CC se realizó al final de floración, con glifosato (2.5 l ha<sup>-1</sup>), (Bonvecchi *et al.*, 2012). Luego de la terminación se tomaron 3 submuestras por cada parcela y por profundidad de 0-5 y 5-20 cm y se conformaron las muestras compuestas respectivas. Inmediatamente, las muestras de suelos fueron disgregadas manualmente por sus líneas de fracturas naturales y posteriormente secadas al aire para su posterior análisis. Variables respuesta. La EE se determinó mediante el método de Le Bissonnais (LB) (1996). Se seleccionaron los agregados de suelo de entre 3 y 5 mm que fueron separados por tamizado en seco y sometidos a tres pre-tratamientos: humectación rápida (DMP<sub>HR</sub>); humectación lenta por capilaridad (DMP<sub>HL</sub>) y disgregación mecánica luego de re-humectación con etanol (DMP<sub>HE</sub>). Los pre-tratamientos permiten distinguir tres mecanismos de desagregación: estallido, microfisuración y disgregación mecánica, respectivamente. Luego de los pre-tratamientos, las muestras fueron secadas en estufa a 40 °C por 48 h y se tamizaron en seco en una columna de 6 tamices (2000 µm, 1000 µm, 500 µm, 200 µm, 100 µm y 50 µm). La suma de la fracción de masa que queda sobre cada tamiz multiplicado por la apertura media de los tamices adyacentes fue utilizada para calcular el DMP de los agregados para cada pre-tratamiento. Posteriormente, se obtuvo el DMP promedio (DMP<sub>PROMEDIO</sub>) a partir de la media de los DMP de los pre-tratamientos. Luego del tamizado en seco, las muestras se unificaron en 3 fracciones: 5 mm a 2 mm; 2 mm a 1 mm y 1 a 0,05 mm, para su posterior análisis en las determinaciones de HCT y COT.

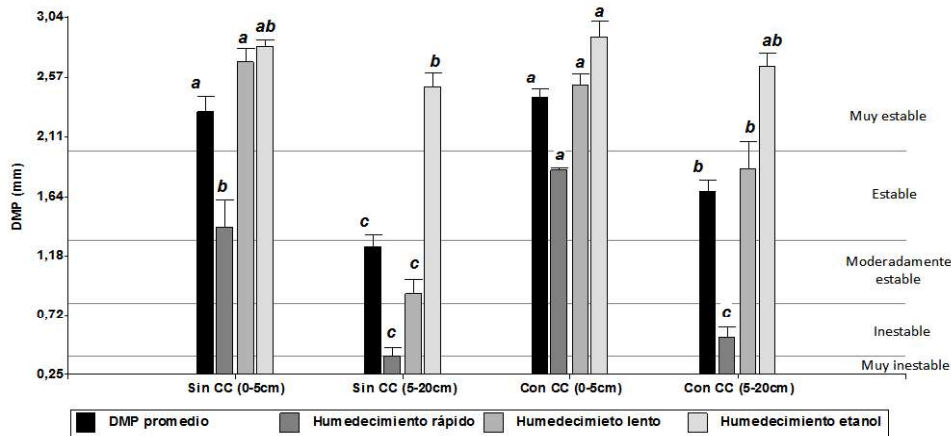
Los HCT se determinaron por el método de Lowe y el COT por combustión (1500°C) con analizador automático (LECO, St. Joseph, MI). Las Glomalinás Fácilmente Extraíbles o Solubles (GS) y Glomalinás Totales (GT) se determinaron por el método de Wright y Upadhyaya (1998).

Análisis estadístico. Se utilizaron modelos lineales mixtos y generalizados. El análisis de varianza y las diferencias entre medias se realizó mediante el test de Tukey con p<0,05. Se realizaron pruebas de correlación de Pearson entre las variables estudiadas y análisis de regresión lineal entre el DMP<sub>PROMEDIO</sub> y las GS para los tratamientos con y sin CC. El software estadístico utilizado fue INFOSAT.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del diámetro medio ponderado (DMP<sub>PROMEDIO</sub>) promediado para los tres pre-tratamientos y el DMP para cada pre-tratamiento individual (humectación rápida, desagregación mecánica y humectación lenta) se presentan en la Figura 1.

El DMP fue mayor en la primera profundidad evaluada (0-5 cm) y se diferenció de la segunda profundidad en los pre-tratamientos de HR y HL, independientemente de la incorporación del CC (p<0,05). Esta diferencia es consistente con la estratificación de la MO provocada por la siembra directa, debido a la no remoción de los residuos de cosecha sobre la superficie del suelo. El aporte de carbono proveniente de la descomposición de los residuos, desde azúcares simples hasta moléculas recalcitrantes como la lignina, favorece la formación y estabilización de los agregados del suelo (Abiven *et al.*, 2009), siendo mayor en los primeros centímetros. Esta estratificación de la materia orgánica con la profundidad del suelo es común en muchos ecosistemas naturales, pastizales y bosques (Franzluebbers *et al.*, 1998), pero también en suelos degradados por la agricultura que inician un proceso de restauración con labranza conservacionista (Dick, 1983).



**Figura 1:** Diámetro medio ponderado para cada pre-tratamiento de LB y DMP promedio, para los tratamientos con y sin CC para las profundidades de 0-5 y 5-20 cm. Letras diferentes indican diferencias significativas dentro de cada pre-tratamiento ( $p < 0,05$ ). Las barras indican error estándar.

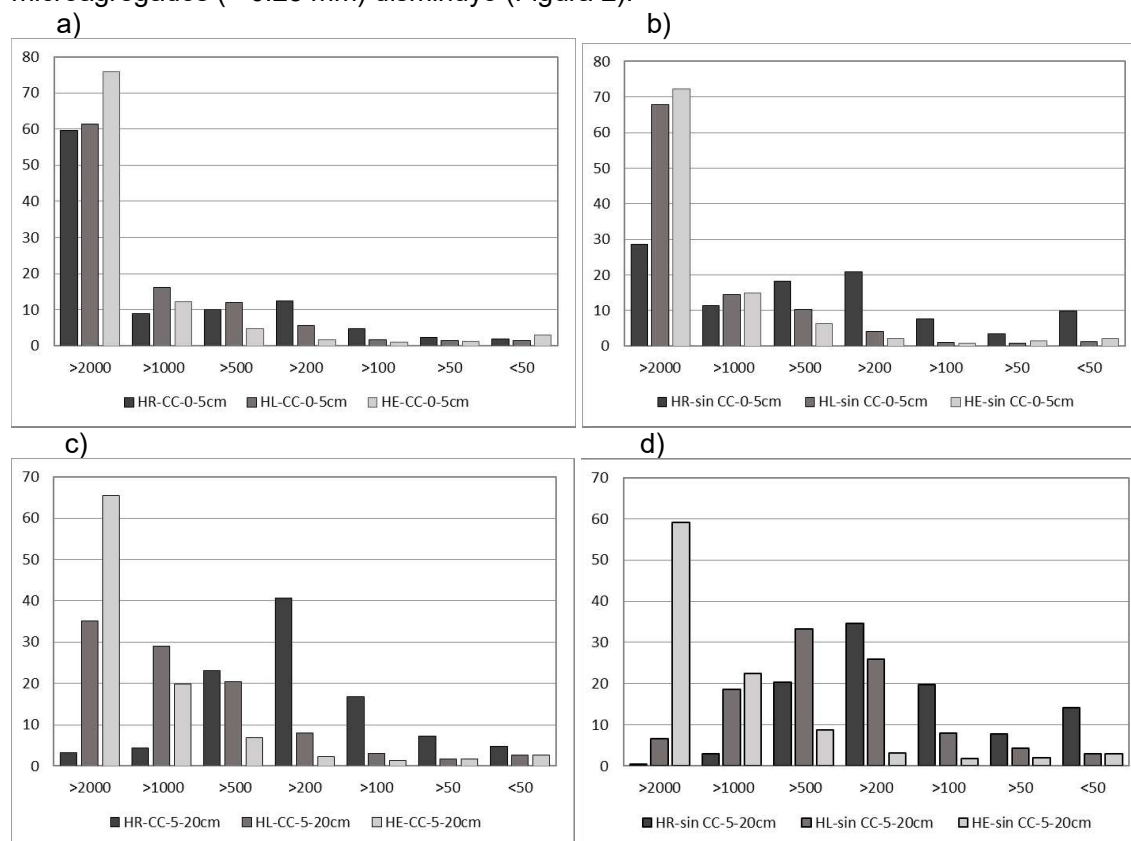
La incorporación del CC produjo cambios en la estabilidad de la estructura de suelo a nivel superficial. Todas las parcelas con CC tuvieron un DMP mayor (27%) que las parcelas de control ( $p < 0,05$ ) luego del pre-tratamiento de humedecimiento rápido. Este pre-tratamiento con alta energía de desagregación, expresa el estallido interno del agregado que se produce por la liberación del aire atrapado durante el humedecimiento. El HR es el que mejor explica el DMP en suelos con alto contenido de carbono orgánico y predominio de arcillas (Le Bissonnais, 1996). Con referencia a estándares establecidos por Le Bissonnais (op. Cit.), los suelos con valores DMP  $< 1.3$  mm, se consideran moderadamente estables cuando se someten a humectación rápida. En este caso, el CC produjo una mejora de la resistencia del suelo frente a este tratamiento destructivo pasando de moderadamente estable a estable. En un suelo similar de la Región Pampeana, Castiglioni y Kremer (2019) reportaron mejoras en el DMP a favor de la avena como CC en el corto plazo en comparación con otras especies como arveja. Godoy Lamela et al. (2019) reportó en un lote de soja continua un incremento significativo del DMP en superficie con mayores porcentajes de agregados en los tamaños de agregados  $> 2$  mm y 2-1 mm a partir de incorporar avena como CC.

Al analizar el efecto del CC en la profundidad 5-20 cm, se observó un incremento del  $DMP_{HL}$  del 6% en relación al de las parcelas testigo ( $p < 0,05$ ). De esta manera, la energía intermedia aplicada con la prueba de HL fue significativa a nivel subsuperficial. Este pre-tratamiento es sensible a la microfisuración, donde la desagregación es más física que orgánica. El aumento de la resistencia de los agregados bajo SD frente a este modo de desintegración en comparación con la humectación rápida (más destructivo) se debe a la buena cohesión que mantiene el suelo cuando está sujeto a lluvias moderadas. Estos resultados son consistentes con aquellos de que confirmaron la mejora de la estabilidad estructural del suelo en condición SD con mantenimiento de residuos de cultivos (Six et al., 2004).

Por último, no se obtuvieron diferencias en la estabilidad de la estructura en relación al proceso de disgregación mecánica ( $DMP_{HE}$ ). El  $DMP_{PROMEDIO}$  fue superior en el tratamiento con CC respecto al testigo sin CC, con valores de 2,5 mm y 1,1 mm para los tratamientos con y sin CC respectivamente. A partir de estos valores del  $DMP_{PROMEDIO}$  se consideraron diferentes grados o clases de estabilidad según Le Bissonnais (1996). Frente a los tres procesos simulados, el estado de la estructura en la capa de 0-5 cm se comportó como muy estable, mientras que en la profundidad de 5-20 cm las estructuras provenientes de las parcelas con CC mejoraron su condición de estable a muy estable.

La mejora en la estabilidad de la estructura se manifiesta también en la distribución de los agregados por tamaño. Cada uno de los pre-tratamientos puso en evidencia diferentes niveles de energía que dieron como resultado una distribución de tamaño de agregados diferente frente a cada nivel. En los tratamientos con CC, se incrementó la proporción de

macroagregados (> 2 mm) y de mesoagregados (0.25 – 2 mm) mientras que la cantidad de microagregados (< 0.25 mm) disminuyó (Figura 2).



**Figura 2:** Distribución de tamaño de agregados para los tres pre-tratamientos de LB. Siendo a) con CC y 0-5 cm, b) sin CC y 0-5 cm, c) con CC y 5-20 cm y d) sin CC y 5-20 cm

El HR fue el pre-tratamiento más agresivo de desintegración, con un valor promedio de 74% de agregados retenidos en los tamices <1000 µm, con valor mínimo y máximo de 47% y 97% para los tratamientos con CC (0-5 cm) y sin CC (5-20 cm). Por el contrario, el pre-tratamiento HE fue el menos agresivo; el 68% de los agregados quedaron retenidos en el tamiz >2000 µm con valor máximo y mínimo de 76% y 59% para los tratamientos con y sin CC, respectivamente. Si bien este pre-tratamiento requiere de una agitación, el re-humedecimiento en etanol de los agregados reduce la tensión superficial, viscosidad y el ángulo de contacto con las partículas de suelo, por lo tanto, la agresividad es menor.

Al analizar todas las variables carbonadas se observó, una acumulación superficial en relación a la profundidad de 5-20 cm, independientemente del tratamiento ( $p < 0.05$ ), Tabla 1. Este incremento y estratificación se puede atribuir a la menor descomposición de los residuos y de las fracciones de MOS estables debido a la menor perturbación del suelo bajo SD (Paustian *et al.*, 1997). Varios estudios han demostrado que la siembra directa puede dar como resultado acumulaciones en superficie de las fracciones lábiles (Galantini *et al.*, 2006) y estables de la MO fundamentalmente en suelos degradados (Amado *et al.*, 2007).

Las fracciones mayores de agregados (5-2 y 2-1 mm) utilizadas para evaluar el COT y HCT, mostraron diferencias significativas para las profundidades analizadas en el pre-tratamiento HR. Mientras que los agregados <1mm, solamente mostraron estratificación para el COT. Respecto al pre-tratamiento HE y el HL, solamente la fracción mayor a 2 mm, evidenció estratificación para las dos variables analizadas. En todos los casos, los valores mayores se obtuvieron de 0-5 cm.

La inclusión de cuatro ciclos de avena como CC, incrementó en un 45 % las GS ( $p < 0.05$ ) en las parcelas con CC en ambas profundidades y no se observaron cambios en los contenidos

de COT; HCT y GT. En el mismo sentido, Alvarez (2016) reportó que en ensayos con CC y una duración inferior a cinco años no se registraron incrementos en el contenido de COT.

**Tabla 1:** Valores medios de variables carbonadas de suelo, por tratamiento y profundidad. Letras diferentes indican diferencias significativas dentro de cada variable ( $p < 0,05$ ).

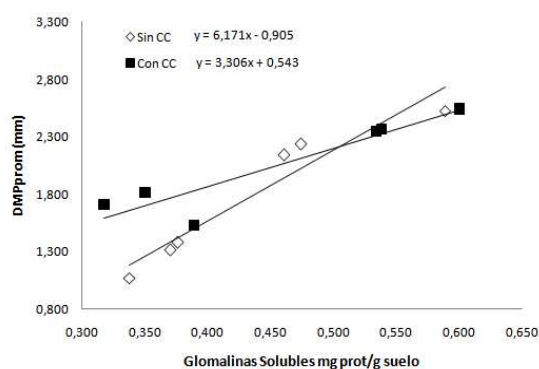
Variables/ Profundidad	Sin CC (0-5cm)	Sin CC (5-20cm)	Con CC (0-5cm)	Con CC (5-20cm)
COT (gC/1000 gsuelo)	20,5 (a)	12,9 (b)	19,8 (ab)	14,7 (ab)
HCT (g/1000 gsuelo)	13,40 (a)	8,43 (b)	12,50 (a)	9,22 (b)
GT (mg prot/g suelo)	2,29 (ab)	2,20 (ab)	2,44 (a)	2,19 (b)
GS (mg prot/g suelo)	0,51 (b)	0,36 (c)	0,56 (a)	0,35 (c)

La glomalina es un componente abundante de la materia orgánica del suelo y se ha relacionado con la estabilidad de los agregados (Wright y Upadhyaya, 1998) debido a su acción como agente de agregación dentro de los microagregados y macroagregados. Wright *et al.* (2007) en un ensayo comparativo de sistemas de labranza concluyó que el sistema de no labranza presentó los mayores niveles de glomalinas y también la concentración aumentó en los macroagregados.

El contenido de GS o fracción más lábil que se encuentra débilmente unida a las partículas del suelo, se relacionó significativamente con los DMP obtenidos, luego de los pre-tratamientos de HR ( $R^2=0,91$ ;  $p < 0,0001$ ), de HL ( $R^2=0,56$ ;  $p < 0,0052$ ) y HE ( $R^2=0,62$ ;  $p < 0,0023$ ). Similar comportamiento se obtuvo para los HCT y el COT, excepto para HR. El nivel de GT, fracción más recalcitrante de la glicoproteína, no mostró relación con los DMP obtenidos luego de los tres pre-tratamientos.

Al relacionar el  $DMP_{PROMEDIO}$  con los contenidos de COT, HCT y GS, se encontraron correlaciones significativas y no se encontró relación con las GT. Sin embargo, COT, HCT y GS se correlacionaron positivamente con el contenido de DMP, independiente del pre-tratamiento ( $p < 0,05$ ), pero ninguna de las variables carbonadas pudo explicar las diferencias en  $DMP_{HR}$  a favor del CC de 0-5 cm. La estabilidad de los agregados tuvo una mejor correlación con GS ( $r = 0,79$ ) y HCT ( $r = 0,68$ ) que el contenido COT ( $r = 0,51$ ) del suelo. Esto indica que las GS y los HCT podrían comportarse como precursores de la agregación del suelo.

El contenido de GS en ambos tratamientos, se relacionó de forma lineal con el  $DMP_{PROMEDIO}$  ( $p < 0,0001$ ) (Figura 3). Se observó que el contenido de GS pudo explicar el 80% de la variación del  $DMP_{PROMEDIO}$ . En el gráfico, se observa que, a bajos niveles de GS, el tratamiento con CC presentó valores de  $DMP_{PROMEDIO}$  mayores respecto al sin CC, mientras que con niveles de glomalinas solubles superiores a 0,5 mg prot/g.suelo, el efecto del CC se diluyó. Esto podría atribuirse a que, a valores bajos de GS, existiría otro agente cementante asociado al CC que incrementaría el  $DMP_{PROMEDIO}$ .



**Figura 3:** Relación entre el contenido de GS y el  $DMP_{PROMEDIO}$

## CONCLUSIONES

La incorporación de avena como CC en rotaciones agrícolas produjo en el mediano plazo cambios en la estabilidad de la estructura de suelo a nivel superficial y subsuperficial. Estos cambios estuvieron asociados a incrementos en la estabilidad de la estructura y en el contenido de GS mientras que no se observaron diferencias en COT; HCT y GT.

El método de Le Bissonnais permitió caracterizar el comportamiento de los suelos frente a los tres procesos simulados y diferenciar los tratamientos con y sin CC, en función de diferentes

distribuciones de tamaño de agregados. El CC incrementó la proporción de macro y mesoagregados, mientras que la proporción de microagregados disminuyó. A partir de las GS se pudieron diferenciar los tratamientos con y sin CC, por lo tanto, esta variable podría considerarse como un posible indicador sensible en el mediano plazo.

#### **BIBLIOGRAFÍA:**

- Alvarez R; HS Steinbach & JL De Paepe. 2016. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: Ameta-analysis. *Soil & Tillage Research* 170 (2017) 53–65.
- Amado, TJC; M Cubilla; RS Nicoloso & T Lovato. 2007. Fertilización en siembra directa: importancia en el balance de C en el suelo. XV Congreso de AAPRESID. 167-174.
- Abiven, S; S Menasseri & Chenu C. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability - A Literature analysis. *Soil Biology & Biochemistry* 41 (2009) 1–12.
- Bonvecchi, VE & A Cabrera. 2012. Cultivos de cobertura y duración del barbecho en sistemas agrícolas pampeanos. *Actas XIX Congreso Latino de la Ciencia del Suelo*.
- Castiglioni M & F Behrends Kraemer . 2019. Short-term effect of cover crops on aggregate Stability assessed by two techniques. *Revista Ciencia del Suelo*. 37 (2): 298-314.
- Carrizo, M; D Alesso; S Cosentino Imhoff. 2015. Aggregation agents and structural stability in soils with different texture and organic carbon contents. *Sci. Agric.* 72 (1):75-82.
- Dick, WA. 1983. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47, 102–107
- Franzluebbers, AJ; FM Hons & DA Zuberer. 1998. In situ and potential CO<sup>2</sup> evolution from a Fluventic Ustochrept in southcentral Texas as affected by tillage and cropping intensity. *Soil Till. Res.* 47: 303-308.
- Galantini, JA; JO Iglesias; C Maneiro; L Santiago & C Kleine, 2006. Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense. Efectos de largo plazo sobre las fracciones orgánicas y el espacio poroso del suelo. *RIA – INTA* 35: 15-30
- Godoy Lamela, JM; VE Bonvecchi; J Irigoín; L Bulos & M. Petrasek. 2019. Cultivos de cobertura: su impacto en la agregación de los suelos en la Pampa Ondulada, Argentina” *Actas XXII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 2do Congreso Uruguayo de Suelos y X Encuentro de la SUCS*.
- González, HM; SB Restovich; SI Portela. 2017. Utilización de cultivos de cobertura invernales como alternativa para mejorar la estabilidad estructural del suelo. *Asociación argentina de ciencia del suelo* 35(1): 1-10, 2017.
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assesement of soil crustability and erodability. Theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.* 47:425-437.
- Liu A, Ma B. & A Bomke. 2005. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. *Soil Science Society of America* 69: 2041-2048.
- Paustian, K; HP Collins & EA Paul. 1997. Management controls on soil carbon. p. 15–49. In E.A. Paul et al. (ed.). *Soil organic matter in temperate agroecosystems*. CRC Pres, Boca Raton, FL.
- Six, J; H Bossuyt; S Degryze & K Denef. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *SoilTillage Res.* 79: 7-31.
- Studdert, GA & HE Echeverria. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.
- Varela, MF; PL Fernandez; G Rubio & MA Taboada. 2011. Cover crops: effects on soil macroporosity and soil structural stability in a silt loam soil. *Ciencia del suelo* 29: 99–106.
- Wright, S.F & A Upadhyaya. 1998. A survey of soils for aggregate stability andglomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 198, 97–107.
- Wright, SF; VS Green & MA Cavigelli. 2007. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. *Soil Till. Res.* 94, 546–549.