



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



EFFECTOS DE CULTIVOS DE COBERTURA INCLUIDOS EN SECUENCIAS SOJA-SOJA SOBRE PROPIEDADES DE UN HAPLUDOL

Rillo, S.¹, Fernández, R.^{2,3}, Álvarez, C.², Quiroga, A.^{2*}

¹INTA 9 de Julio; ²INTA Anguil; ³Facultad de Agronomía UNLPam; *Anguil (6326) CC11, prov. de La Pampa. quiroga.alberto@inta.gob.ar

RESUMEN:

En la Región Pampeana los sistemas agrícolas han incrementado su participación en el uso de la tierra respecto a los ganaderos, con predominancia del cultivo de soja, en consecuencia, el tiempo que los lotes quedan sin cobertura durante el periodo de barbecho impacta negativamente sobre algunas propiedades del suelo, determinando cambios temporales sobre algunas variables físicas y el carbono del suelo. Los resultados de este trabajo sobre los efectos acumulados de 11° campañas agrícolas en una secuencia con alta frecuencia de soja/soja e intervención con soja/CC/soja, muestran que los aportes de biomásas invernales de 8000 kg Ms ha⁻¹ por parte de los cultivos de cobertura (CC), marcaron efectos significativos en el carbono orgánico (COT) que se correlacionaron con una mayor infiltración en los tratamientos con CC, los cuales presentaron diferencias significativas respecto al testigo del 132%. Además, el COT se relacionó significativamente con la distribución de agregados y la estabilidad estructural. Siendo mayor la estabilidad de agregados en los tratamientos con CC. Se concluye que, en el largo plazo, la inclusión sistemática de CC en las secuencias agrícolas dominadas por soja son altamente relevantes en suelos Hapludoles franco arenoso de la Región Pampeana, contribuyendo a la sustentabilidad de los sistemas agrícolas en el oeste pampeano.

PALABRAS CLAVE: infiltración, estabilidad estructural, experiencia de larga duración.

INTRODUCCION

La producción de grano se ha duplicado durante la última mitad del siglo XX a partir del desarrollo de maquinaria más eficiente, avances en el mejoramiento genético, aportes de nutrientes por fertilización y un control más eficiente de plagas (Tilman *et al.*, 2002). La agriculturización, con una fuerte tendencia hacia la monocultura (Aguilar *et al.*, 2015; Barzman *et al.*, 2015), ha implicado una fuerte reducción de la superficie con pasturas perennes (Mignolet *et al.*, 2012; Peyraud *et al.*, 2014) que fue reemplazada principalmente por soja en suelos con régimen de humedad Údico (Díaz-Zorita *et al.*, 2002). Una opción para mitigar los efectos adversos sería la utilización de las gramíneas de crecimiento invernal como cultivos de cobertura (CC). Los mismos pueden incrementar la tasa de infiltración, reducir el escurrimiento y aportar cobertura al suelo disminuyendo las pérdidas de agua por evaporación (Bennie y Hensley, 2000), con un significativo aporte de carbono a los suelos (Fernández *et al.*, 2012). No obstante, Álvarez *et al.* (2008) comprobaron que, si bien la incorporación de triticale como CC incrementó el contenido de carbono orgánico (CO) del suelo y la infiltración, no se registraron cambios significativos en la estabilidad de agregados de un Hapludol típico. Ruís y Blanco-Canqui (2017), destacan que los estudios que evalúan los efectos de los CC sobre propiedades de suelos en sistemas con bajo aporte de residuos son escasos y en general de corta duración. Que se requieren estudios con efectos acumulados por mayor tiempo para evaluar convenientemente los efectos de los CC sobre propiedades de los suelos. La influencia de los CC sobre el CO del suelo normalmente no es detectada durante los primeros años de inclusión en la rotación. Por otra parte, distintos autores expresan que



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria

aspectos de la dinámica de propiedades físicas en sistemas agrícolas con inclusión de CC han sido poco explorados (Villamil *et al.*, 2006; Restovich *et al.*, 2010). En base a lo expuesto, se plantea como hipótesis que: Las gramíneas de invierno incluidas como CC en secuencias continuas de cultivos de soja mejoran, en relación con la monocultura, el balance de C y la captación del agua de las precipitaciones como consecuencia de una mayor infiltración y estabilidad estructural en Udoles franco arenosos.

Objetivo fue evaluar los efectos acumulados a través de una experiencia de larga duración de la inclusión de avena y rye grass como CC sobre propiedades edáficas (carbono orgánico, infiltración, distribución de agregados y estabilidad estructural) en un Hapludol franco arenoso de la Región Pampeana bajo monocultivo de soja.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo de CC en rotación con soja con 11 años de efectos acumulados se localizó en la Escuela de Ganadería y Agricultura Inchausti, partido de 25 de Mayo, provincia de Buenos Aires. El suelo, Hapludol éntico, serie Norumbega, de textura franco arenosa. El clima es subhúmedo, con una precipitación media anual de 1000 mm. Se evaluaron durante 11 años 3 tratamientos: 2 con cultivo de cobertura 1-avena (CV Calén) (A) y 2- rye grass (CV Barturbo) (R), y un control que permaneció libre de vegetación durante el barbecho largo que media entre cultivos sucesivos de soja (6 a 7 meses). El mismo presentó un diseño en bloques al azar con tres repeticiones. La siembra de los CC se realizó entre el 15 al 20 de abril de cada año y las fechas de secado entre el 8 al 15 de octubre. La suspensión del crecimiento de los CC se realizó con herbicidas en emergencia de inflorescencias (Zadoks, 4,49). El cultivo de soja también fue sembrado en SD entre el 20 y el 30 de noviembre, con una densidad de 48 plantas por m². Los contenidos de carbono orgánico total (COT) se determinaron en muestras de los espesores de 0 a 20 cm y estratificado en muestras de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 y 15 a 20 cm del suelo. Las determinaciones se realizaron al inicio del experimento y a los 5 y 11 años de efectos acumulados (Walkley y Black, 1934). Durante los mismos periodos se evaluó la infiltración básica con permeámetro de disco simple (Gil, 2006). El análisis de estabilidad estructural (EE) se realizó a los 11 años de efectos acumulados, sobre muestras de 0 a 10 y 10 a 20 cm de profundidad. Las muestras fueron extraídas luego de la cosecha de soja. Se realizaron 3 muestreos compuestos cada uno de 3 submuestras. Cada muestra se desmenuzó manualmente en función de los planos de fragilidad de los agregados y se dejaron secar al aire. Luego se tamizaron obteniendo agregados menores de 2, entre 2 y 3, 3 y 4, 4 y 8 y mayores a 8 mm de diámetro. Teniendo en cuenta la proporción de cada fracción se calculó el diámetro medio ponderado en seco y luego de haber sometido los agregados a tamizado en húmedo el diámetro medio ponderado en húmedo. La diferencia entre ambas determinaciones representa la inestabilidad estructural (De Boodt y De Leenheer (1967). Además, se evaluó, la biomasa aérea anual (materia seca- MS) y la eficiencia de uso de agua (EUA) de cada CC. Se realizó cortando 1 m² de material vegetal al ras del suelo, en el momento de secado de los CC. Las muestras frescas se pesaron y secaron en estufa a 65 °C hasta peso constante para obtener la producción de MS por hectárea (kg MS ha⁻¹). Para EUA kg MS ha⁻¹ mm⁻¹, se realizó el cociente entre la MS producida y el uso consuntivo (UC) de avena y rye grass. Los resultados se analizaron por ANVA y la comparación de diferencias de medias (CC de avena y CC de rye grass comparado con el tratamiento testigo) mediante la prueba de diferencias mínimas significativas LSD de Fisher con un nivel de significancia p ≤ 0,05. El estadístico utilizado para todos los análisis fue Infostat (Di Rienzo, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSION

La biomasa aérea y la eficiencia de uso del agua promedio de 11 años fue mayor (p ≤ 0,05) en A (8969 kg ha⁻¹; 27,9 kg ha⁻¹ mm⁻¹) que en R (7195 kg ha⁻¹; 18,8 kg ha⁻¹ mm⁻¹). Este aporte, en relación con el T, contribuyó significativamente sobre el COT. En las evaluaciones realizadas a los 5 y 11 años (Fig. 1) de efectos acumulados se encontraron diferencias significativas (p ≤ 0,05) en los contenidos del COT, resultandos superiores en los tratamientos con CC (sin diferencias entre especies) respecto del T. Las mayores diferencias se observaron

en el estrato superior del perfil, con una mayor estratificación del COT bajo CC. Cuando se analizaron estos cambios refiriéndolos a masa de suelo, los valores iniciales de COT ($38,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) mostraron un leve incremento bajo CC ($41,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) y disminución en el T ($35,7 \text{ Mg ha}^{-1}$). Al comparar concentraciones los suelos bajo CC tuvieron un 15% más de COT respecto del T. Sin embargo, al referirlas a masa las diferencias resultaron del 13,3%. Si bien las diferencias por efectos acumulados resultaron de $5,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ (aproximadamente 10 Mg ha^{-1} de MO), las mismas no solo fueron por incrementos del COT por la inclusión de los CC, sino que también se debieron a disminuciones en el T, durante la prolongación de los efectos de la monocultura de soja. El 56% de la variación registrada se produjo por la disminución en el T (disminución promedio $0,34 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y el 44% a incrementos por inclusión de los CC (incremento promedio de $0,21 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

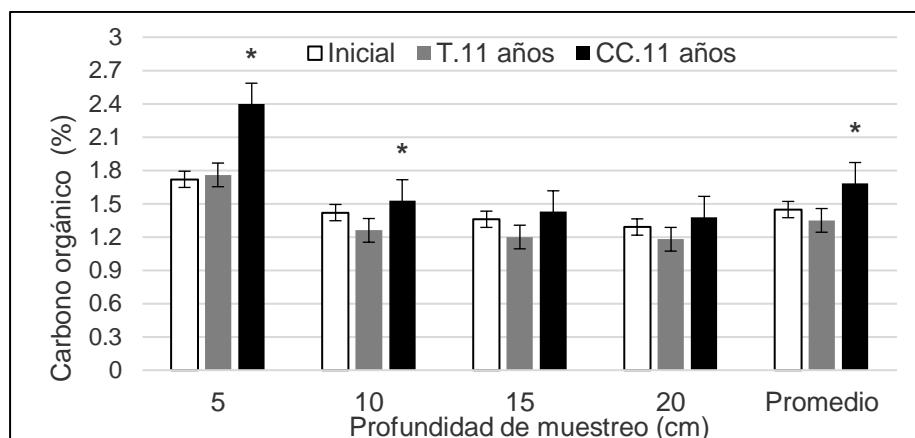


Figura 1. Carbono orgánico total (%) al inicio de la experiencia y luego de 11 años de efectos acumulados para los tratamientos testigo (T) y promedio de los cultivos de cobertura (CC: avena y rye grass). Determinados para los espesores de suelo 0-5; 5-10; 10-15 y 15-20 cm. * indica diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Cuando la infiltración básica fue evaluada en el primer año, luego del secado de los CC, no se encontraron diferencias significativas entre el T y los CC (Fig. 2). En el 5° año, la infiltración de los CC (sin diferencia entre especies) fue significativamente mayor ($p \leq 0,05$) respecto del T. En las determinaciones realizadas a los 11 años, se pudo validar que la infiltración en el T siguió siendo significativamente menor (39 mm h^{-1}) que la de los CC. La mayor infiltración se logró con CC de R (96 mm h^{-1}). Sin embargo, no difirió a la obtenida con CC de A. En promedio, luego de 11 años de efectos acumulados, los CC tuvieron mayor tasa de infiltración respecto al T (132%).

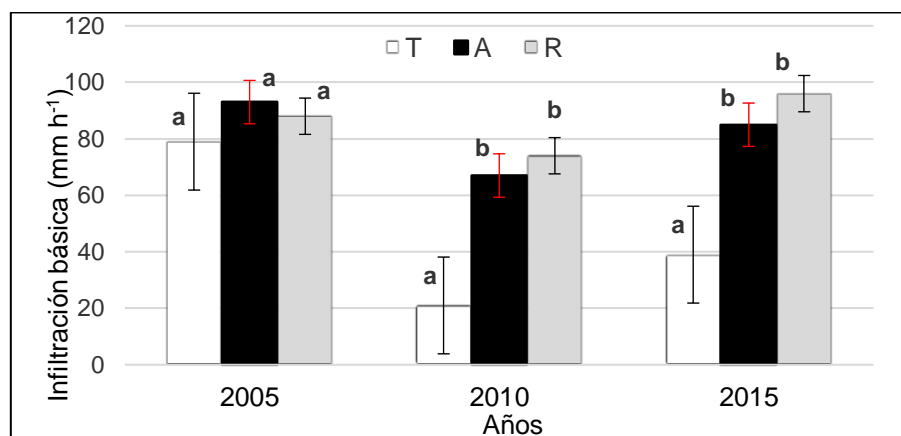


Figura 2. Infiltración evaluada en el 1^{er} año luego del secado de los CC y luego de 5 y 11 años de efectos acumulados. Testigo (T) sin CC, con CC de avena (A) y con CC de rye grass (R). Letras distintas indican diferencias significativas para el test de LSD Fisher. ($p \leq 0,05$).

Diversos estudios reconocen que las coberturas con residuos tienen alta eficacia para mitigar la susceptibilidad de ruptura de los agregados por el impacto de las gotas de lluvia y el posterior proceso de dispersión de partículas y oclusión de los macroporos. Además de favorecer la biota, contribuyendo a la generación de bioporos más estables que favorecen la infiltración. En este sentido, los sistemas de producción con alta frecuencia de soja en la rotación presentan normalmente escasa cobertura de residuos (Cazorla, 2011), que además se descompone rápidamente (Andriulo *et al.*, 1999). Una de las consecuencias son los efectos negativos sobre la materia orgánica (Forjan *et al.*, 2006; Cordone y Martínez, 2004) y consecuentemente sobre la agregación del suelo, el suministro de agua y nutrientes y la susceptibilidad a la compactación (Quiroga *et al.*, 1996; Díaz-Zorita y Grosso, 2000). En los tratamientos con CC la proporción de agregados mayores a 8 mm fue significativamente mayor y la proporción de los menores a 2 mm fue menor, respecto al T sin CC (Figura 3 a y b). En promedio la cantidad de los agregados >8 mm fue de 21,5 y 15,7 % mayor en A y R en los espesores de suelos de 0 a 10 y de 10 a 20 cm con respecto al T. Mientras que los agregados <2 mm en el T resultaron mayores en ambos estratos respecto de A y R ($p<0,05$).

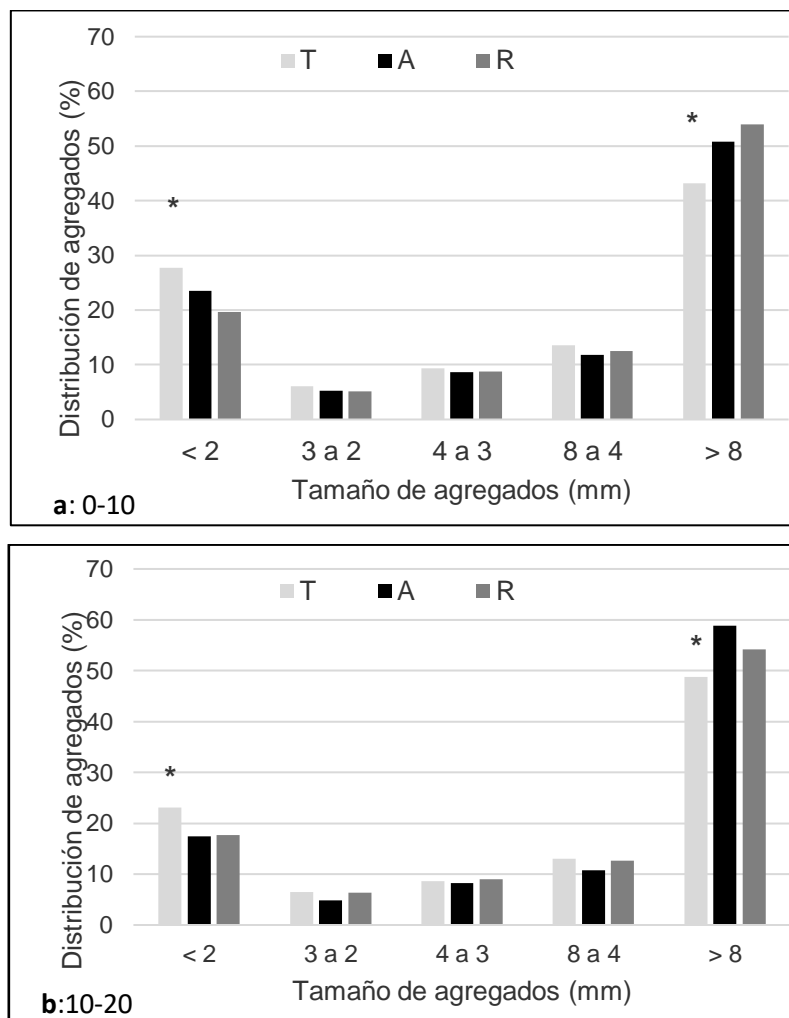


Figura 3. **(a)** Proporción de agregados (%) de diferentes diámetros (<2, 2-3, 3-4, 4-8 y >8mm) en el estrato de suelo de 0-10 cm, bajo monocultura de soja (T) y con inclusión de cultivos de cobertura de avena (A) y rye grass (R).

La estabilidad estructural de los agregados de 2 a 8 mm fue significativamente menor ($p<0,05$) en el T en el estrato superior (0-10cm). Coincidentemente, Ruis *et al.*, (2020), señalan la importancia del aporte de biomasa de los CC sobre los cambios que se registran en la

concentración del carbono y la estabilidad de los agregados en el suelo. En el estrato de 0-10 cm, se comprobó una relación positiva entre los valores de EE y los contenidos de COT y la biomasa aérea tanto en los tratamientos con CC de A (R^2 : 0,42) como de R (R^2 : 0,64). Existe coincidencia que estos procesos tienen lugar por efectos acumulados y que solo pueden ser comprobados a través de experimentos de larga duración (Blanco-Canqui *et al.*, 2015 y 2018).

CONCLUSIONES

La incorporación de especies invernales a sistemas de agricultura continua con soja influyó positivamente sobre los contenidos de carbono, infiltración y estructura. Las diferencias que explicaron estos cambios, por efectos acumulados, fue el mayor contenido de CO ($5,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$), que no se debieron solamente por la inclusión de los CC, también acaecieron por disminuciones en el T. El 56% de la variación registrada se produjo por la disminución en el T y el 44% a incrementos por inclusión de los CC. En el mismo sentido, las diferencias en infiltración se debieron a que los CC mantuvieron los valores iniciales mientras que en el T se registró una reducción del 70%. En correspondencia el T mostró significativamente menor proporción de agregados $>2\text{mm}$ y estabilidad estructural. La inclusión continua de CC constituye una alternativa para mitigar efectos no deseados de la monocultura de soja en Hapludoles franco arenosos.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar J., Gramig G.G., Hendrickson J.R., Archer D.W., Forcella F., Liebig M.A. (2015). Cambios en la diversidad de especies de cultivos en los Estados Unidos: 1978–2012. *Plos One*, Sección Artículos. Recuperado de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136580>.
- Andriulo, A. E., Guerif, J. y Mary, B. (1999). Evolution of soil carbon with various cropping sequences on the rolling pampas. Determination of carbon origin using variations in natural ^{13}C abundance. *Agronomie, EDP Sciences*, 19 (5), pp. 349-364.
- Álvarez, C., Scianca, C., Barraco, M. y Díaz-Zorita, M. (2008 a). Impacto de diferentes secuencias de cultivos en siembra directa sobre propiedades edáficas en Hapludoles de la pampa arenosa. CD de Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. 13 al 16 de mayo de 2008, Potrero de los Funes (San Luis).
- Álvarez, C., Scianca, C., Barraco, M. y Díaz-Zorita, M. (2008 b). Impacto de diferentes secuencias de cultivos en siembra directa sobre propiedades edáficas en Hapludoles de la pampa arenosa. CD de Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. 13 al 16 de mayo de 2008, Potrero de los Funes (San Luis).
- Bennie, A. y Hensley, M. 2000. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa, a review. *Journal of Hydrology*. 241:124-139
- Blanco-Canqui, H., & Ruis, S. J. (2018). No-till and the soil physical environment. *Geoderma*, 326, 164–200. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>
- Blanco-Canqui, H., Shaver, T., Lindquist, J., Shapiro, C., Elmore, R., Francis, C.A. y Hergert, G. (2015). Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Crop Science Society of America and Soil Science Society of America*. (107), pp. 2449-2474.
- Barzman, M., Bárberi, P., Birch, A. (2015). Ocho principios del manejo integrado de plagas. *Agronomía para el desarrollo sostenible. Agronomy for Sustainable Development*, 35, pp. 1199–1215.
- Cazorla, C. (2011). Influencia de la fertilización y los cultivos de cobertura en los contenidos de carbono orgánico, estabilidad de agregados y densidad aparente del suelo, pp. 97. *Tesis Magister, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina*.
- Cordone, G. y Martínez, F. (2004). El monocultivo de soja y el déficit de nitrógeno. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur. INPOFOS*, (24), pp. 1-4.

- Di Rienzo, F Casanoves, MG Balzarini, L Gonzalez, M Tablada, CW Robledo (2016). Infostat versión 2016. Grupo Infostat. FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Diaz-Zorita, M. y Grosso, G., (2000). Effect of soil texture, organic carbon, and water retention on the compactability of soils from the Argentinean pampas. *Soil Tillage Research*, (54) pp.121-126.
- Fernández, R., Noellemeyer, E. y Quiroga, A. (2012). Cultivo de cobertura, ¿una alternativa viable para la región semiárida pampeana? *Revista Argentina de la Ciencia del suelo* 30, pp. 137- 150.
- Fernández, R., Quiroga, A., Noellemeyer, E., Saks, M., Arenas, F., y Antonini, C. (2012). Inclusión de cultivos de cobertura en sistemas de producción de la región semiárida pampeana Capítulo V. *Manual de fertilidad y evaluación de suelos*. 2. Publicación Técnica N° 89. ISSN 0325-2132.
- Forjan H., M. Zamora, R. Bergh, M. Manso, M. Seghezzo, E. Molfese. (2006). Impacto de la inclusión de soja en secuencias agrícolas del sur bonaerense: el balance de nutrientes. *Mercosoja*. Tecnología del Cultivo. pp. 561-565.
- Gil R. (2006). Infiltrómetro. Permeámetro de Disco. CD de Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta, Jujuy, Argentina.
- Mignolet, C. Schott, C., Benoit, M., y Meynard, J. (2012). Transformations des systèmes de production et des systèmes de culture du bassin de la Seine depuis les années 1970: une spécialisation des territoires aux conséquences environnementales majeures. *Innov Agron* 22, pp.1–16. Recuperado de: <https://hal.inrae.fr/hal-02650527> ›
- Peyraud, J.L., Taboada, M. & Delaby, L. (2014). Integrated crop and livestock systems in Western Europe and South America: a review. *Eur JAgron* (57), pp. 31-42. DOI: 10.1016/j.eja.2014.02.005.
- Quiroga A.; D. Buschiazzi; N. & Peineman. 1996. Soil Organic matter particle size fractions in soils of the semiarid argentinian pampas. *Soil Science* 161 (2), pp.1-5.
- Restovich, S.B. Torti, M.J. Colombini, D.A. y Andiulo, A.E. (2010). Evolución de algunas propiedades físicas y químicas edáficas durante la implementación de cultivos de cobertura en la secuencia Soja-Maíz. En: Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario (Santa Fe).
- Ruis, S., & Blanco-Canqui, H. (2017). Cover crops could offset crop residue removal effects on soil carbon and other soil properties: A review. *Agronomy Journal*, 109, 1785–1805.
- Ruis, S., Blanco-Canqui, H., Elmore, R.W., Proctor, C., Koehler-Cole, K., Ferguson, R.B., Francis, C.A. & Shapiro C. A. (2020). Impacts of cover crop planting dates on soils after four years. *Agronomy Journal*, pp.1–17. Recuperado de wileyonlinelibrary.com/journal/agj2. DOI: 10.1002/agj2.20143
- Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R. & Polasky S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418:671–677.
- Villamil, M., Bollero, G., Darmody, R., Simmons, F. & Bullock, D. (2006). No till corn/soybean systems including winter cover crops: effects on soil properties. *Soil Science Society America Journal* (70), pp. 1936-1944.