

¿Son convenientes los cultivos de cobertura en la región pampeana? Un análisis de la información existente

Roberto Álvarez^{1,2,*}, Haydee S. Steinbach¹ y Josefina L. De Paepe^{1,2}

- *Los cultivos de cobertura invernales son una alternativa al barbecho previo a los cultivos de verano que se está difundiendo en la región pampeana argentina.*
- *Nuestro objetivo fue determinar si los posibles beneficios de estos cultivos compensan su costo de implantación y establecimos que cuando se usa vicia se mejora el rendimiento de maíz.*
- *En otros casos, las mejoras que producen los cultivos de cobertura en los suelos deberán evaluarse a largo plazo para establecer su conveniencia.*

Introducción

Los cultivos de cobertura son una herramienta útil para disminuir la erosión (Langdale et al., 1991) y las pérdidas de N-nitratos (Valkama et al., 2015) en muchos agrosistemas. También pueden actuar como fuente de nitrógeno para los cultivos siguientes introduciendo el nutriente por fijación simbiótica al ecosistema (Li et al., 2015) y ser útiles en el control de malezas (Cherr et al., 2006). Sin embargo, tienen un costo de implantación que puede anular estos beneficios (Snapp et al., 2005). El impacto de los cultivos de cobertura sobre las propiedades físicas del suelo no ha sido aclarado, mientras que son esperables aumentos del nivel de materia orgánica cuando se introducen en la rotación (Poepflau y Don, 2015). En zonas semiáridas y subhúmedas (< 800 mm de precipitación anual), los cultivos de cobertura pueden producir una disminución de la cantidad de agua disponible para los cultivos posteriores (Blanco-Canqui et al., 2015). En consecuencia, es necesario analizar en conjunto los diferentes beneficios e inconvenientes que produce la introducción de cultivos de cobertura en las rotaciones para determinar la conveniencia de su uso.

Para promediar resultados de distintos estudios y poder hacer comparaciones estadísticamente válidas se han desarrollado las técnicas meta-analíticas (Hedges y Olkin, 1985), las que no han sido aplicadas al problema de los cultivos de cobertura a nivel local sino recientemente (Álvarez et al. 2017). Una revisión previa para la región pampeana argentina, usando métodos tradicionales, indicó aumentos del carbono (C) orgánico del suelo por uso de cultivos de cobertura, efectos no claros sobre la humedad del suelo y falta de impacto sobre el rendimiento de maíz y soja (Rimski-Korsakov et al., 2015). Nuestro objetivo es presentar aquí los resultados principales del meta-análisis realizado con información local, relativo a los efectos de los cultivos de cobertura sobre las propiedades físicas, la fertilidad, el contenido de agua útil de los suelos y el rendimiento de los cultivos en la región pampeana argentina.

Materiales y métodos

Se recopilaron resultados publicados de 67 experimentos realizados en la región pampeana (**Figura 1**) en los que se determinó los efectos de los cultivos de cobertura en comparación a suelo en barbecho sobre alguna de las propiedades de interés. Una descripción detallada de las fuentes bibliográficas, las características más relevantes de los experimentos, el sistema de extracción de datos, el procesamiento de las variables y los métodos estadísticos aplicados se pueden encontrar en Álvarez et al. (2017). Brevemente, se seleccionaron experimentos realizados por instituciones oficiales realizados bajo condiciones semejantes a las de producción, en los que se comparaba cultivo de cobertura versus barbecho (sin cultivo de cobertura). La especie del cultivo de cobertura se indicó en todos los casos, así como también el diseño experimental con el número de repeticiones. En algunos casos contactamos a los autores para obtener información adicional. El momento de muestreo respecto del inicio del experimento y la profundidad de las muestras fueron condiciones de selección. Se levantó información de tablas, texto y figuras usando un programa de digitalización. Las variables de interés fueron: densidad aparente del suelo,

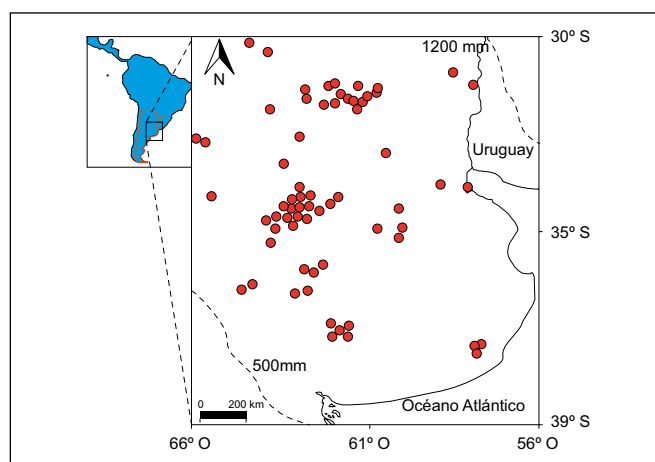


Figura 1. Ubicación de los experimentos analizados. Se indican con línea punteada las isohietas de 1200 y 500 mm. Se han movido levemente algunos puntos para evitar superposiciones.

¹ Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina

² CONICET

* Autor de contacto. Correo electrónico: ralvarez@agro.uba.ar

resistencia a la penetración, estabilidad estructural, infiltración, C orgánico, N-nitrato, contenido de agua útil y rendimiento de maíz y soja. Las características climáticas de cada sitio experimental se obtuvieron de una base de datos elaborada previamente (De Paepe y Álvarez, 2016). Solo un sitio tenía precipitaciones medias menores a 700 mm anuales, en el resto de los casos estas variaban entre 800 y 1000 mm. La duración de los experimentos varió entre 1 y 15 años y en todos los casos tenían entre 3 y 4 repeticiones. Los cultivos de cobertura más comúnmente testeados fueron: centeno, avena, triticale, raigrás, avena y cebadilla. La leguminosa más testeada fue Vicia sp.

El meta-análisis se realizó ponderando cada promedio extraído de las publicaciones por su número de repeticiones para el cálculo de un promedio general a través de todos los estudios (Adams et al., 1997). La variable respuesta (RR) fue la relación entre la variable de interés en el tratamiento (cultivo de cobertura = \bar{X}_T) y el control (barbecho = \bar{X}_C) (Ec. 1):

$$RR = \frac{\bar{X}_T}{\bar{X}_C} \quad (\text{Ec. 1})$$

Esta variable respuesta no tiene unidades y representa la fracción de cambio que determina el tratamiento respecto del control (Hedges et al., 1999). Para su análisis estadístico se logaritiza a fines de lograr normalidad (Hedges et al., 1999). Se calculó, para el RR promedio (\overline{RR}) de los diferentes estudios, el intervalo de confianza del 95% (IC) por métodos de *bootstrapping* (Adams et al., 1997). Cuando el intervalo de confianza no incluye el valor 1 se asume efecto significativo ($P < 0.05$) del cultivo de cobertura respecto del control. Cuando los intervalos de confianza de dos grupos de datos no se superponen también se considera como diferencias significativas entre ellos. Para los análisis se usó MetaWin 2.0 (Rosenberg et al., 2000). El \overline{RR} se transformó a porcentaje de cambio para presentar los resultados (Ec. 2):

$$\text{Porcentaje de cambio} = (\overline{RR} - 1) * 100\% \quad (\text{Ec. 2})$$

Para analizar si existían diferencias entre grupos de datos (ej. diferentes especies de cultivo de cobertura) se realizó el análisis de heterogeneidad de \overline{RR} calculado para esos grupos (Hedges y Olkin, 1985). Si el análisis era significativo ($P < 0.05$) indicaba respuesta diferente al tratamiento cultivo de cobertura de los grupos testeados. Las correlaciones entre variables se calcularon por mínimos cuadrados ponderados (Hedges y Olkin, 1985) utilizando el software MetaWin (Rosenberg et al., 2000).

Resultados

Las propiedades físicas generalmente mejoraron con cultivos de cobertura (Figura 2). Mientras que la densidad aparente fue mínimamente afectada (media: -1%, IC: 0 a -3%), la resistencia a la

penetración del suelo decreció un 15% (IC: -24 a -7%), la estabilidad estructural mejoró un 12% (IC: +6 a +19%) y la infiltración aumentó 36% (IC: +18 a +62%). Todos estos cambios no se correlacionaron con el tiempo desde la aplicación de los cultivos de cobertura.

Se produjo un aumento del contenido de carbono orgánico de los suelos en casi todos los experimentos (Figura 3). El incremento promedio fue de 7% (IC: +5 a +12%) para el estrato 0-20 cm, registrándose en algunos casos disminución del C orgánico. Esas disminuciones se observaron solamente en experimentos de corta duración, generalmente menor a cinco años. No se pudo correlacionar el aumento del carbono con la duración del experimento. El \overline{RR} difirió entre experimentos instalados en suelos de textura fina y gruesa. El aumento del carbono fue mayor en suelos gruesos que finos (cambio porcentual de 9% vs. 4%, respectivamente). El tipo de rotación (con inclusión de trigo o maíz vs. monocultivo de soja) no impactó sobre el \overline{RR} .

El N-nitrato decreció en promedio 53% (IC: -59 a -47%) a la siembra del cultivo siguiente con cultivos de cobertura (Figura 3). Esta caída se produjo tanto si el cultivo de cobertura era una gramínea o una leguminosa. La meta-regresión mostró que la caída de N-nitrato era mayor a más años bajo cultivo de cobertura.

El efecto del cultivo de cobertura sobre al contenido de agua útil del suelo dependió del estrato de profundidad considerado (Figura 4). En las capas superficiales (0-1 m) del suelo no se detectaron efectos significativos de los cultivos de cobertura sobre contenido de agua útil. En cambio, cuando se consideraron las capas profundas hubo menor contenido de agua útil con cultivos de cobertura. Hasta 1 m de profundidad los cultivos de cobertura no impactaron significativamente sobre la provisión de agua del suelo, pero al considerar toda la zona de exploración de las raíces los cultivos siguientes tuvieron menos agua disponible con cultivos de cobertura en lugar de barbecho. La disminución media varió entre 15% y 30% del total de agua almacenada en el perfil (IC: -42 a -3%) dependiendo de la profundidad considerada.

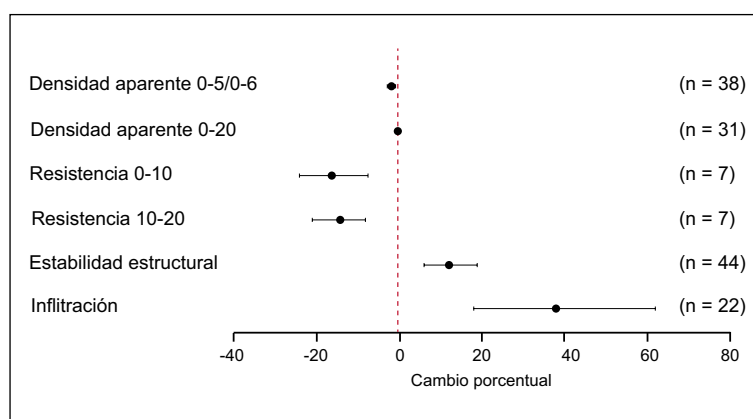


Figura 2. Cambio porcentual de las propiedades físicas del suelo entre el tratamiento con cultivo de cobertura y el control. Los números entre paréntesis indican la cantidad de datos promediados. Las barras indican los intervalos de confianza del 95%.

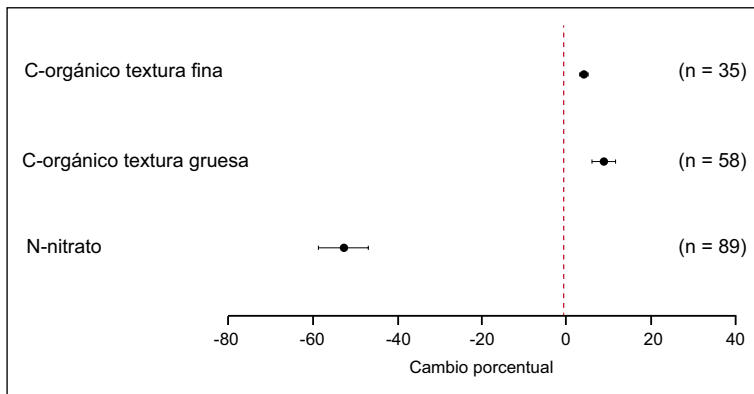


Figura 3. Cambio porcentual de los contenidos de carbono orgánico y N-nitratos a la siembra de los cultivos de granos entre el tratamiento con cultivo de cobertura y el control. Los números entre paréntesis indican la cantidad de datos promediados. Las barras indican los intervalos de confianza del 95%.

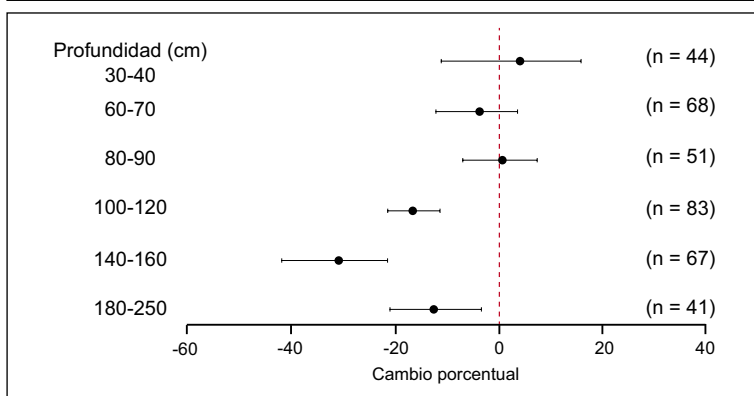


Figura 4. Cambio porcentual del contenido de agua útil del suelo entre el tratamiento con cultivo de cobertura y el control medido entre el secado del cultivo de cobertura y la siembra del cultivo de grano posterior. El agua útil se calculó en todos los casos desde la superficie del suelo hasta la profundidad indicada en cada caso. Los números entre paréntesis indican la cantidad de datos promediados. Las barras indican los intervalos de confianza del 95%.

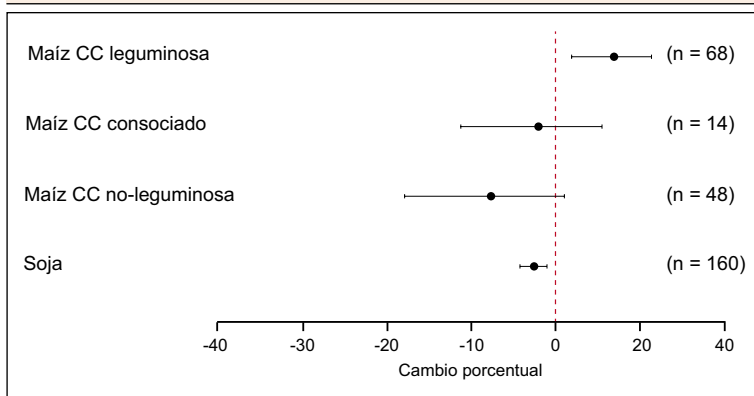


Figura 5. Cambio porcentual del rendimiento de maíz y soja entre el tratamiento con cultivo de cobertura y el control. Los números entre paréntesis indican la cantidad de datos promediados. Las barras indican los intervalos de confianza del 95%.

Los rendimientos tanto de maíz como de soja se vieron significativamente afectados por el cultivo de cobertura (Figura 5). El análisis de heterogeneidad indicó, en maíz, diferencias según el tipo de cultivo de cobertura, mientras que en soja no se detectó este comportamiento. Cuando el maíz fue precedido por un cultivo de

cobertura leguminosa (generalmente *Vicia sp.*), su rendimiento se incrementó, en promedio, un 7% (IC: +3 a +12%). En cambio, el rendimiento no fue significativamente afectado por consociaciones (gramíneas+leguminosas) o cuando se usaba una no leguminosa como cultivo de cobertura. En este último caso, sin embargo, hubo una tendencia a la disminución del rendimiento del 8% en promedio (IC: -16 a +3%). Estos efectos fueron independientes del clima del sitio experimental. No hubo correlación entre y la relación precipitación/evapotranspiración potencial del sitio. En contraposición, el rendimiento de soja fue mínimamente afectado (media: -2%, IC: -4 a -1%) por el cultivo de cobertura previo y no hubo diferencias significativas entre tipos de cultivo de cobertura.

Discusión

Propiedades físicas

Los cambios producidos por los cultivos de cobertura sobre la densidad aparente fueron muy pequeños y no afectan el crecimiento de las raíces. En cambio, la resistencia a la penetración decreció con cultivos de cobertura. En el 40% de los casos de nuestro set de datos, la resistencia sobrepasaba el umbral de 2 kPa a partir del cual las raíces se ven afectadas (Hamza et al., 2005). Una reducción del 15-20% en la dureza puede mejorar las condiciones para las raíces en esos casos. Sin embargo, nuestro set era reducido para analizar en profundidad esta variable, por lo que más datos deberán ser generados en el futuro para confirmar esta observación. La mejora de la estabilidad estructural observada con cultivos de cobertura parece ser producida por un efecto agregante de las raíces de esos cultivos. Si bien no se pudo testear si los mismos estaban asociados a mayores niveles de materia orgánica inducidos por los cultivos de cobertura, debido a la falta de datos de ambas variables combinadas, el 79% de los casos correspondían a experimentos de dos años o menos, lo que sugiere poco cambio del nivel de materia orgánica de los suelos. Estos efectos agregantes de los cultivos de cobertura, sin afectar el contenido de materia orgánica edáfica, han sido descritos anteriormente (Liu et al., 2005). La mayor infiltración bajo cultivos de cobertura, como la observada en la región pampeana, no necesariamente impacta favorablemente sobre el nivel de humedad del suelo porque los cultivos de cobertura consumen agua (Lal et al., 1978).

Fertilidad

El incremento promedio de 7% del nivel de C orgánico del suelo con cultivos de cobertura representa aproximadamente 2.6 t C ha⁻¹ de carbono secuestrado para el estrato 0-20 cm. Este incremento fue mayor en suelos de textura gruesa posiblemente debido a una menor productividad de los cultivos de granos en esos suelos (De Paepe y Álvarez, 2013). Consecuentemente,

para estos suelos, el aporte adicional de residuos que producen los cultivos de cobertura es más importante en términos relativos. La rotación no impactó sobre el secuestro de C producido por los cultivos de cobertura.

La disminución de N-nitrato se produjo tanto en casos donde se usaron gramíneas como cultivos de cobertura como leguminosas. La *Vicia sp.* actuó como destino del N-nitrato del suelo tan eficientemente como las gramíneas a pesar de su capacidad de fijar N atmosférico, que se ha estimado entre 50 a 180 kg N ha⁻¹ (Fageria et al., 2005; LaRue and Patterson, 1981).

Agua del suelo

La adopción de cultivos de cobertura produjo una disminución promedio de contenido de agua útil del suelo de entre 15% y 30% para la zona de exploración radical, lo que representó entre 20 y 40 mm de agua en relación al nivel de humedad del tratamiento control. El uso consuntivo de los cultivos de granos en la región pampeana oscila entre 500 y 700 mm en el ciclo de desarrollo (Bono y Álvarez, 2016; Dardanelli et al., 2003) y esta restricción posiblemente tiene poco impacto sobre la productividad. En áreas donde la precipitación anual es menor a 500 mm, los cultivos de cobertura pueden producir una disminución marcada de la disponibilidad de agua en el suelo (Cherr et al., 2006) pero este no es el escenario climático de la mayor parte de las áreas agrícolas pampeanas, excepto en años secos.

Rendimientos

El rendimiento de soja prácticamente no fue impactado por los cultivos de cobertura. Ni la reducción del N-nitrato, ni la del agua útil afectaron al cultivo. Por el contrario, el rendimiento de maíz se vio incrementado cuando se utilizó *Vicia sp.* como cultivo de cobertura. Teniendo en cuenta que en la región pampeana se ha estimado un requerimiento de 20 kg N para generar una tonelada de grano en este cultivo (Álvarez y Steinbach, 2016), el aumento promedio del rendimiento de 7% calculado en el meta-análisis representó 0.65 t grano ha⁻¹ en relación a la media del tratamiento control. Este incremento estaría asociado a un crédito de N producido por la *Vicia sp.* que determinó una absorción adicional de 15 kg N ha⁻¹. El mismo se generó durante el ciclo del maíz gracias a la descomposición de los residuos del cultivo de cobertura y no antes de la siembra, ya que con *Vicia sp.* el N-nitrato fue menor a la siembra. Aunque no fue significativa, la disminución del rendimiento al usar gramíneas como cultivos de cobertura debe ser un tema de preocupación y de futuros estudios. Esta caída parece deberse al efecto de los cultivos de cobertura sobre el nivel de N-nitrato. Se utilizó un costo estimado de sembrar un cultivo de cobertura como equivalente al valor de aproximadamente 0.7 t de maíz (Márgenes Agropecuarios, 2016). Nuestro meta-análisis indicó que, en maíz, este costo se compensa cuando se usa *Vicia sp.* como cultivo de cobertura. Adicionalmente, el agrosistema recibe otros beneficios como la mejora en las propiedades físicas y el nivel de materia orgánica. Serán necesarios experimentos de larga duración para determinar si estas y otras ventajas que pueden aportar los cultivos de cobertura, compensan o

no su costo de implantación cuando se usan gramíneas previas a cultivos de maíz o soja.

Bibliografía

- Álvarez, R., H.S. Steinbach, y J.L. De Paepe, J.L. 2017. Cover crops effects on soils and subsequent crops in the Pampas: a meta-analysis. *Soil Till. Res.* 170:53-45.
- Adams, D.C., J. Gurevitch, y M.S. Rosenberg, M.S. 1997. Resampling tests for meta-analysis of ecological data. *Ecology* 78:1277-1283.
- Álvarez, R, y H.S. Steinbach. 2016. Dosificación de la fertilización en maíz. In: Fertilidad de suelos y fertilización en la región pampeana. Chapter 15. R. Álvarez (Ed.), Editorial Facultad de Agronomía-Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, pp. 307-331.
- Blanco-Canqui, H., T.M. Shaver, J.L. Lindquist, J.L., C.A. Shapiro, R.W. Elmore, C.A. Francis, y G.W. Hergert. 2015. Cover crops and ecosystems services: insights from studies in temperate soils. *Agron. J.* 107:2449-2474.
- Bono, A., y R. Álvarez. 2016. Estimación del uso consuntivo de trigo, maíz y girasol en la Región Semiárida-Subhúmeda Pampeana. *Actas XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, 5 p.
- Cherr, C.M., J.M.S. Scholberg, y R. McSorley. 2006. Green manure approaches to crop production: a synthesis. *Agron. J.* 98:302-319.
- Dardanelli, J., D. Collino, M.E. Otegui, V.O. Sadras. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de granos. In: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. H. Satorre et al. (Eds.). Editorial FAUBA, Buenos Aires, Argentina, pp. 375-440.
- De Paepe, J.L., y R. Álvarez. 2013. Developments of a soil productivity index using an artificial neural network approach. *Agron. J.* 105:1803-1813.
- De Paepe, J.L., y R. Álvarez. 2016. Wheat yield gap in the pampas: modeling the impact of environmental factors. *Agron. J.* 108:1367-1378.
- Fageria, N.K., V.C. Baligar, B.A. Bailey. 2005. Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36:2733-2757.
- Hamza, M.A., y W.K. Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res* 82:121-145.
- Hedges, L.V., Gurevitch, J., Curtis, P.S. 1999. The meta-analysis of response ratios in experimental ecology. *Ecology* 80:1150-1156.
- Hedges, L.V., Olkin, I. 1985. *Statistical methods for meta-analysis*. Academic Press, London, 369 pp.
- Lal, R., Wilson, G.F., Okigbo, B.N. 1978. No-till framing alter various grasses and leguminous cover crops in tropical Alfisol. I: Crop performance. *Field Crops Res.* 1:71-84.
- Langdale, G.W., R.L. Blevins, D.L. Karlen, D.K. McCool, M.A. Nearing, E.L. Skidmore, E.L., A.W. Thomas, D.D. Tyler, y J.R. Williams. 1991. Cover crops effects on soil erosion by wind and water. In: W.L. Hargrove (Editor). *Cover crops for clean water*. Soil and Water Conservation Society, 7515 N.E. Iowa, USA, pp. 15-22.
- LaRue, T.A., T.G. Patterson. 1981. How much nitrogen do legumes fix? *Adv. Agron.* 34:15-38.
- Li, X., P. Sorensen, F. Li, S.O. Petersen, y J.E. Olsen. 2015. Quantifying biological nitrogen fixation of different catch crops, and residual effects of roots and tops on nitrogen uptake in barley using in-situ ¹⁵N labelling. *Plant Soil* 395:273-287.
- Liu, A., Ma, B.L., y A.A. Bomke. 2005. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:2041-2048.
- Márgenes Agropecuarios. 2016. Editorial Márgenes Agropecuarios S.R.L. Año 32, Nº 374, Buenos Aires, Argentina.
- Poeplau, C., y A. Don. 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops-A meta-analysis. *Agric. Ecosys. Environm.* 200:33-41.
- Rimski-Korsakov, H., C.R. Álvarez, y R.S. Lavado. 2015. Cover crops in the agricultural systems of the Argentine Pampas. *J. Soil Water. Cons.* 70:112A-118A.
- Rosenberg, M.S., D.C. Adams, y J. Gurevitch. 2000. *MetaWin*. Statistical software for meta-analysis, version 2.0. 133 p.
- Snapp, S.S., S.M. Swinton, R. Labarta, D. Mutch, J.R. Black, R. Leep, J. Nyiraneza, y K. O'Neil. 2005. Evaluating cover crops for benefits, cost and performance within cropping systems niches. *Agron. J.* 97:322-332.
- Valkama, E., R. Lemola, T. Känkänen, y E. Turtola. 2015. Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. *Agric. Ecosys. Environm.* 203:93-101.