

Incorporación de cultivos de cobertura previos a soja en el sudeste bonaerense

J.P. Martínez¹, P.A. Barbieri^{1,2}, H.R. Sainz Rozas^{1,2} y H.E. Echeverría¹

Introducción

En los últimos años la superficie sembrada con soja en Argentina ha registrado un fuerte incremento, abarcando en la actualidad más del 50% de la superficie total cultivada (MinAgri, 2012). Una consecuencia negativa del aumento de la frecuencia del cultivo de soja en la rotación es su bajo aporte de residuos y la baja relación carbono:nitrógeno (C:N) de los mismos, lo que puede llevar a una disminución del contenido de materia orgánica (MO) del suelo (Studdert y Echeverría, 2000). Este es un componente clave del mismo debido a que afecta directa o indirectamente muchos parámetros que definen su calidad. Si bien la soja tiene la capacidad de fijar el N atmosférico mediante el proceso de fijación biológica del N (FBN), ésta generalmente no cubre los requerimientos de N del cultivo, provocando en algunas situaciones balances negativos de este nutriente en el suelo (Álvarez et al., 1995). A pesar de esto, el cultivo de soja generalmente no manifiesta respuesta a la fertilización con N (Gutiérrez-Boem et al., 2004), mientras que, cuando se realiza dicha práctica, disminuye el aporte de N por FBN (Salvagiotti et al., 2008). Consecuentemente, la fertilización con N al cultivo de soja no sería la vía adecuada de reposición de dicho nutriente para mejorar el balance en el suelo. Por lo tanto, existe la necesidad de identificar prácticas de manejo tendientes a mejorar el balance de C y N en secuencias con predominio del cultivo de soja sin disminuir su producción, para mantener la calidad del suelo y la sustentabilidad del sistema de producción.

La inclusión de cultivos de cobertura (CC) durante la estación invernal, como la avena, trigo, centeno, etc., sería una estrategia para generar biomasa adicional aumentando la cantidad de C ingresado al suelo. Otra importante característica de los CC en base a gramíneas, es que estos pueden captar N del suelo, evitando posibles pérdidas por lavado durante el periodo de barbecho (Restovich et al., 2012; Kaspar et al., 2012). Además, los mismos responden a la oferta de N aumentando la producción de biomasa y la acumulación de dicho nutriente (Ruffo et al., 2004). Esto permitiría que una mayor cantidad de N sea retornada al suelo mediante sus residuos. Por lo tanto, el empleo de CC también podría ser una alternativa para mejorar el balance de N en secuencias basadas en soja incrementando la entrada de N al suelo sin afectar la FBN (Cordone y Martínez, 2004). Mas allá de las características positivas

de los CC sobre la conservación del recurso suelo, en la bibliografía se encuentra información controversial en cuanto al efecto de su incorporación sobre el rendimiento del cultivo posterior, lo cual es de gran importancia ya que condiciona la factibilidad de esta alternativa de manejo. En la zona del sudeste bonaerense existe escasa información sobre las eventuales ventajas de la incorporación de los CC en los planteos productivos actuales, la cual sería de suma utilidad para evaluar la factibilidad de dicha alternativa. El objetivo de este trabajo fue determinar la acumulación de biomasa aérea, C y N en CC con y sin fertilización con N y evaluar el efecto de su incorporación sobre el rendimiento del cultivo de soja, en un suelo Argiudol Típico de Balcarce (Buenos Aires, Argentina).

Materiales y métodos

Se trabajó sobre un ensayo de larga duración, bajo siembra directa (SD) iniciado en 2006 en INTA-FCA Balcarce, sobre un Argiudol Típico serie Mar del Plata, con menos de 2% de pendiente. Previo al establecimiento del ensayo se había realizado agricultura continua bajo labranza convencional (arado de rejas, rastra de discos) durante más de 25 años. Al inicio del ensayo, el pH fue 5.4; el fósforo extractable (P Bray⁻¹) 14 mg kg⁻¹ y la MO 4.6%. Teniendo en cuenta el contenido de MO de la situación prístina de los suelos de la región, el valor registrado refleja una reducción del 46% respecto al nivel original, indicando una condición de elevada degradación.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones y se evaluaron los siguientes tratamientos: soja continua (Sj); cultivo de cobertura/soja (CC/Sj) y cultivo de cobertura fertilizado con N/soja (CCF/Sj). Las unidades experimentales fueron parcelas de 15 m de largo y 5 m de ancho. Se utilizó avena (*Avena sativa* L.) como CC con una densidad de 120 kg ha⁻¹ y un espaciamiento entre surcos de 0.175 m. En el caso de los tratamientos fertilizados con N, la fertilización se realizó al voleo con 90 kg ha⁻¹ de N en la etapa de macollaje Z23 (Zadoks et al., 1974) utilizando como fuente urea (46-0-0). Los cultivos de cobertura fueron secados en el estado de hoja bandera visible (Z37) con una aplicación de 3-4 ha⁻¹ de glifosato (48% principio activo). El tratamiento Sj se mantuvo libre de malezas durante el periodo de barbecho mediante una aplicación de glifosato al comienzo de la primavera. La

¹ Unidad Integrada Balcarce FCA UNMDP-E.E.A. INTA, Ruta 226 km 73.5, Balcarce CC. 276, (7620), Balcarce, Argentina. Correo electrónico: juanpablomartinez999@hotmail.com

² CONICET

Tabla 1. Datos de manejo de los cultivos y precipitaciones acumuladas durante el periodo de crecimiento de la soja y los CC en 2009/10, 2010/11 y 2011/12 en Balcarce, Argentina.

	2009/10	2010/11	2011/12
Cultivo de cobertera (avena)			
Fecha de siembra	22/05/2009	14/05/2010	01/06/2011
Fecha de secado	21/10/2009	18/10/2010	17/10/2011
Precipitaciones totales, mm	347	334	276
Soja			
Fecha de siembra	13/11/2009	20/11/2010	24/11/2011
Variedad	Nidera 4209	DM 4970	DM 3810
Fecha de cosecha	10/4/2010	27/4/2011	13/4/2012
Precipitaciones totales, mm	570	433	457

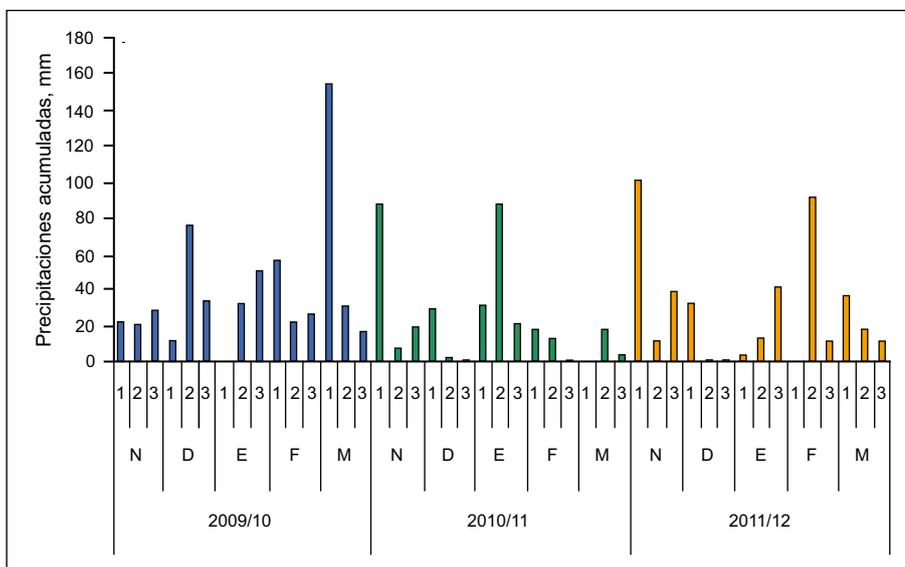


Figura 1. Precipitaciones decádicas acumuladas durante el periodo del cultivo de soja en las estaciones de crecimiento 2009/10, 2010/11 y 2011/12.

el método de Dumas: Combustión de la muestra a altas temperaturas (950 °C) y posterior detección por termo-conductividad (LECO, 2010). La cosecha de la soja se realizó mediante trilladora automotriz de parcelas, cosechando una superficie de 10.5 m² por parcela. El rendimiento se expresó corregido al 13.5% de humedad de grano.

Los datos obtenidos se analizaron a través de un modelo de mediciones repetidas. Este modelo se utilizó para incorporar las correlaciones de los errores asignados a mediciones sobre una misma unidad experimental a través de los años. Los análisis se realizaron utilizando el procedimiento MIXED y la opción REPEATED del paquete estadístico SAS (Littell et al., 2006). Cuando se registró interacción entre secuencia y estación de crecimiento ($p < 0.05$), se evaluaron los efectos simples, mientras que cuando la interacción entre secuencia y estación de crecimiento no fue significativa ($p > 0.05$), se evaluaron los efectos principales. Cuando el estadístico F fue significativo, se utilizó el test de diferencia mínima significativa (LSD en Inglés) para separar las medias entre tratamientos con un nivel de significancia 0.05.

Resultados y discusión

Biomasa aérea, nitrógeno y carbono en los CC

soja se sembró a una distancia entre surcos de 0.35 m y una densidad de 45 semillas m⁻², inoculadas con *Bradyrhizobium japonicum*. A la siembra de la soja, la misma se fertilizó al voleo con 20 kg de P utilizando como fuente superfosfato triple (0-46-0) y 15 kg de S bajo la forma de sulfato de calcio (17% S). Las plagas, malezas y enfermedades se controlaron con métodos químicos.

Se evaluaron las estaciones de crecimiento 2009/10, 2010/11 y 2011/12. En la **Tabla 1** se detalla el manejo de las secuencias y las precipitaciones totales en cada estación de crecimiento. Asimismo, se detalla la distribución de las precipitaciones para las 3 campañas en evaluación (**Figura 1**). Al momento de la suspensión del crecimiento de los CC, se cortaron 3 submuestras de 0.35 m² por parcela, a nivel del suelo y se recolectó la biomasa aérea. Las mismas se secaron en estufa a 60 °C hasta peso constante, se pesaron y molieron (1 mm) para determinar la concentración de C y N mediante

En los ciclos 2009/10 y 2010/11, la precipitación acumulada en el periodo de crecimiento del CC fue cercana a la mediana histórica de 337 mm (**Tabla 1**), mientras que en el ciclo 2011/12 fue 61 mm menor. La biomasa acumulada y el C en biomasa aérea de los CC no registró interacción significativa ($p < 0.05$) entre año y secuencia de cultivos. Los valores de biomasa aérea se ubicaron en el rango de 4.0 a 8.4 Mg ha⁻¹ (**Tabla 2**). Esto coincide con lo reportado por Restovich et al. (2012) quienes usaron avena como CC sin fertilización nitrogenada en el norte de la región pampeana Argentina. En 2010/11, la biomasa aérea de los CC fue mayor ($p < 0.05$) que en las otras estaciones de crecimiento (**Tabla 2**). Esto podría ser debido a una combinación de efectos, como el anticipo en la fecha de siembra lo que generó un mayor periodo de crecimiento respecto a los otros años. Además, las menores precipitaciones acumuladas en el ciclo

Tabla 2. Producción de biomasa aérea, acumulación de N y C, y relación C:N de los cultivos de cobertura en las estaciones de crecimiento (EC) 2009/10, 2010/11 y 2011/12 en las secuencias (S): cultivo de cobertura/soja (CC/Sj); cultivo de cobertura fertilizado con N/soja (CC_F/Sj). Letras minúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$) entre S. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$) entre EC. Valores entre paréntesis indican error estándar de la media.

Secuencias	Biomasa aérea (Mg ha ⁻¹)	C (Mg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	C:N
2009/10				
CC/Sj	4.0 (0.3)	1.8 (0.1)	63 (3.8) b A	28 (0.3) a C
CC _F /Sj	5.0 (0.2)	2.2 (0.1)	104 (2.0) a C	21 (1.1) b A
2010/11				
CC/Sj	6.6 (0.6)	2.8 (0.3)	65 (5.8) b A	44 (2.4) a A
CC _F /Sj	8.4 (0.5)	3.6 (0.2)	158 (4.3) a A	23 (1.4) b A
2011/12				
CC/Sj	5.1 (0.4)	2.2 (0.2)	73 (7.1) b A	30 (0.6) a B
CC _F /Sj	6.4 (0.1)	2.8 (0.0)	130 (2.4) a B	21 (0.6) b A
Promedio S				
CC/Sj	5.2 (0.4) b	2.3 (0.2) a	67 (3.2)	34 (2.5)
CC _F /Sj	6.6 (0.5) a	2.8 (0.2) a	131 (7.8)	22 (0.6)
Promedio EC				
2009/10	4.5 (0.3) C	2.0 (0.1) C	84 (9.4)	24 (1.8)
2010/11	7.5 (0.5) A	3.2 (0.2) A	111 (21.0)	33 (4.8)
2011/12	5.7 (0.3) B	2.5 (0.1) B	101 (13.3)	26 (2.1)
Valor-p				
S	0.047	0.054	0.005	<0.001
EC	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
S x EC	0.315	0.258	<0.001	<0.001

2011/12, y las bajas temperaturas hacia fines del invierno y comienzo de la primavera en el año 2009, afectaron de manera negativa el crecimiento del CC. La biomasa aérea promedio de los CC en las tres estaciones de crecimiento fue mayor ($p < 0.05$) en CC_F/Sj (6.6 Mg MS ha⁻¹ año⁻¹) que en CC/Sj (5.2 Mg MS ha⁻¹ año⁻¹) (Tabla 2), lo cual equivale a 2.8 y 2.3 Mg C ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente.

Más allá del diferente comportamiento entre años, los CC produjeron una gran cantidad de biomasa en el periodo invernal, aumentando la cantidad de residuos sobre el suelo comparado con el monocultivo de soja. Esto puede tener efectos benéficos sobre el suelo disminuyendo el riesgo de erosión y encostramiento superficial (Taboada et al., 2010). Además, la mayor cantidad de residuos sobre la superficie puede mejorar la conservación del agua debido a un incremento en la infiltración y una reducción en la evaporación, principalmente en las estaciones de primavera y verano (Reeves, 1994; Kaspar y Singer, 2011). Este ingreso

adicional de C al suelo en secuencias con predominio de soja mejora el balance del mismo y, por lo tanto, la sustentabilidad del sistema.

En las tres estaciones de crecimiento, el N acumulado en los CC fue mayor ($p < 0.05$) en los tratamientos fertilizados con N y la relación C:N fue menor ($p < 0.05$), comparado con los tratamientos sin fertilización, registrando valores promedio de relación C:N de 22 y 34, respectivamente. La baja relación C:N está asociada con un incremento del N liberado vía mineralización de los residuos (Paustian et al., 1992; Clark et al., 1997), el cual puede quedar disponible en el suelo para cultivos posteriores en la rotación. En promedio para las 3 estaciones de crecimiento, los CC fertilizados con N acumularon en biomasa aérea 131 kg de N ha⁻¹ año⁻¹, mientras que los no fertilizados acumularon 67 kg de N ha⁻¹ año⁻¹. Si bien la secuencia CC/Sj registró la menor ($p < 0.05$) acumulación de N en todos los ciclos de cultivo, la cantidad de N acumulado puede considerarse de importancia, ya que el mismo proviene del suelo y

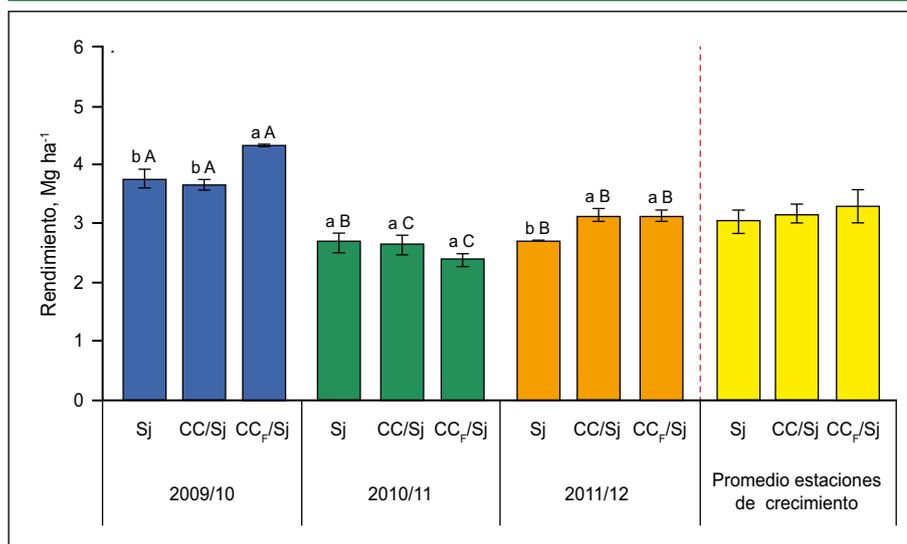


Figura 2. Rendimiento del cultivo de soja para las estaciones de crecimiento 2009/10, 2010/11 y 2011/12 en las secuencias: soja continua (Sj); cultivo de cobertura/soja (CC/Sj); cultivo de cobertura fertilizado con N/soja (CCF/Sj). Las barras verticales indican el error estándar de la media. Las medias fueron comparadas usando el test LSD. Letras minúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ($p > 0.05$) entre secuencias. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ($p > 0.05$) entre estaciones de crecimiento.

no del fertilizante. Esto indicaría el efecto benéfico de los CC en la captura de N disponible con riesgo de ser lixiviado (Ruffo et al., 2004; Restovich et al., 2012; Kaspar et al., 2012). Además, el N captado en la biomasa de los CC podría posteriormente ser mineralizado en el suelo para su reciclaje en el sistema. Es importante considerar que tanto los valores de acumulación de C como de N son solo aquellos en la biomasa aérea, si se incluye la biomasa de raíces y exudados radicales, estos valores se incrementarían y la cantidad de C y N retornada al suelo por los CC sería mayor.

Rendimiento del cultivo de soja

El rendimiento del cultivo de soja estuvo en el rango de 2.4 a 4.3 Mg ha⁻¹ (Figura 2). Estos valores son acordes a los reportados en otros estudios regionales bajo condiciones de secano, en los cuales la disponibilidad de agua es el principal factor limitante (Calviño y Monzón, 2009).

En la estación de crecimiento 2009/10, todas las secuencias registraron los mayores rendimientos ($p < 0.05$) respecto de las otras estaciones, los cuales estuvieron en el rango de 3.7 a 4.3 Mg ha⁻¹ (Figura 2). Una explicación a esto, serían las abundantes precipitaciones durante el ciclo del cultivo, siendo la precipitación acumulada entre la tercer década de octubre de 2009 y la segunda década de marzo de 2010 (correspondiente al periodo transcurrido entre la fecha de secado de los CC y la madurez del cultivo de soja), 71 mm por encima de la mediana histórica para este periodo (499 mm) (Tabla 1). Además, se registraron abundantes precipitaciones durante el periodo comprendido entre la segunda década del mes de febrero a la primer década del mes de

marzo (Figura 1) coincidiendo con los estados fenológicos de R4 a R6.5 (Fehr y Caviness, 1977), periodo crítico para determinación del rendimiento del cultivo (Andrade et al., 2002). En la estación de crecimiento 2009/10, el rendimiento de la soja fue mayor ($p < 0.05$) en CCF/Sj, mientras que CC/Sj y Sj no difirieron entre sí (Figura 2).

En la estación de crecimiento 2010/11, el régimen de precipitaciones fue menos favorable para el desarrollo del cultivo de soja, siendo las precipitaciones acumuladas durante el ciclo del cultivo 66 mm por debajo de la mediana histórica (Tabla 1), además se registraron escasas precipitaciones durante el periodo crítico de determinación del rendimiento, siendo este afectado (Figura 1). A pesar de la menor disponibilidad de agua los rendimientos del cultivo de soja en esta estación de crecimiento no

difirieron ($p < 0.05$) entre las diferentes secuencias, y el mismo estuvo en el rango de 2.4 a 2.7 Mg ha⁻¹ (Figura 2). Esto coincide con lo reportado por Restovich et al. (2012) quienes determinaron en un estudio a largo plazo que el rendimiento de soja sembrado luego de avena como CC no difirió respecto al monocultivo bajo diferentes condiciones hídricas durante el periodo de crecimiento de la soja.

En 2011/12, las precipitaciones acumuladas estuvieron 41.2 mm por debajo de la media histórica, aunque en el periodo crítico de determinación del rendimiento, el cual coincidió con los años anteriores, estas fueron mayores que en el ciclo 2010/11 (Figura 1). El rendimiento del cultivo de soja estuvo en el rango de 2.7 a 3.1 Mg ha⁻¹, y fue mayor ($p < 0.05$) en CC/Sj y CCF/Sj que en Sj (Figura 2).

El rendimiento promedio en las tres estaciones de crecimiento del monocultivo de soja fue de 3.0 Mg ha⁻¹, mientras que en las secuencias con CC soja fue de 3.3 Mg ha⁻¹ y 3.2 Mg ha⁻¹ con o sin adición de N, respectivamente. Los resultados de este estudio indican que el rendimiento del cultivo de soja no disminuyó por la inclusión de los CC en tres estaciones de crecimiento con diferentes condiciones hídricas; mientras que, en los ciclos 2009/10 y 2011/12, las secuencias con CC presentaron mayores rendimientos que Sj (excepto para CC/Sj en el año 2009 que no difirió de Sj). Esto indica un posible efecto benéfico de dichos manejos sobre la productividad del suelo, mas allá del corto periodo de tiempo transcurrido luego de la implementación de dichas prácticas.

Conclusiones

La incorporación de CC en secuencias con predominio de soja en la zona del sudeste bonaerense es una alternativa factible para incrementar el aporte de C y N mejorando el balance de ambos elementos en el suelo, sin afectar el rendimiento del cultivo de soja. A su vez, la fertilización con N incrementó la producción de biomasa aérea y el contenido de N, mientras que, disminuyó la relación C:N de los CC.

Estos promisorios resultados deberían ser confirmados a más largo plazo y en otros ambientes productivos, a fin de evaluar la factibilidad de esta práctica de manejo. Además, deberían realizarse estudios sobre los procesos que intervienen en la dinámica del C y N, y otros parámetros que definen la calidad del suelo. Esto contribuirá a un mayor entendimiento acerca del impacto de estas prácticas de manejo sobre la productividad del suelo y la sustentabilidad del sistema de producción.

Bibliografía

- Álvarez, R., J.H. Lemcoff, y A.H. Merzari. 1995. Balance de N en un suelo cultivado con soja. *Ciencia del Suelo*. 13:38-40.
- Andrade, F.H., L. Aguirrezábal, y R.H. Rizzalli. 2002. En: Andrade F., y V. Sadras, Ed. Crecimiento y rendimiento comparados. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. INTA Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP). 57-96.
- Calviño, P., y J.P. Monzon. 2009. En: Sadras V.O., y D.F. Calderini. Farming systems of Argentina: Yield constraints and risk management. *Crop physiology*. Elsevier. 55-70.
- Clark, A.J., A.M. Decker, J.J. Meinsiger, y M.S. McIntosh. 1997. Kill date of vetch, rye, and a vetchrye mixture: I. Cover crops and corn nitrogen. *Agron J.* 89:427-434.
- Cordone, G., y F. Martínez. 2004. El monocultivo de soja y el déficit de nitrógeno. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. IPNI Cono Sur. 24:1-4.
- Fehr, W.R., y C.E. Caviness. 1977. Stages of soybean development. *Iowa St. Univ. Special Report* 80. 11 p.
- García, F.O., I.A. Ciampitti, y H.E. Baigorri. 2009. Manual del cultivo de soja. Buenos Aires, Internacional Plant Nutrition Institute. pp 180.
- Gutiérrez-Boem, F.H., J.D. Scheiner, H. Rimski Korsakov, y R.S. Lavado. 2004. Late season nitrogen fertilization of soybeans: effects on leaf senescence, yield and environment. *Nutr Cycl Agroecosys*. 68:109-15.
- Kaspar, T.C., D.B. Jaynes, T.B. Parkin, T.B. Moorman, y J.W. Singer. 2012. Effectiveness of oat and rye cover crops in reducing nitrate losses in drainage water. *Agr Water Manage*. 110:25-33.
- Kaspar, T.C., y J.W. Singer. 2011. En: Hatfield J.L., y T.J. Sauer, Ed. The Use of Cover Crops to Manage Soil. *Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Guilford Road, Madison, USA. 321-337.
- LECO. 2010. Organic application notes. [en línea] Disponible en: <http://www.leco.com> [consulta 13/9/10].
- Littell, R.C., G.A. Milliken, W.W. Stroup, R.D. Wolfinger, y O. Schabenberger. 2006. SAS® for Mixed Models, second edition. SAS Institute Inc, Cary, NC, USA. 814 p.
- MinAgri. 2012. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Base de datos sistema integrado de información agropecuaria [En línea]. Disponible en: <http://www.minagri.gov.ar/SAGPyA>. [Consulta: 10/5/12]
- Paustian, K., J. William, y P.J. Persson. 1992. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long-term plots. *Soil Sci Soc Am J.* 56:476-488.
- Reeves, D.W. 1994. En: Hatfield J.L., y B.A. Stewart. Ed. Cover crops and rotations. *Advances in soil science. Crops residue management*. CRC Press, Boca Raton, FL. 125-172.
- Restovich, S.B., A.E. Andriulo, y S.I. Portela. 2012. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Res.* 128:62-70.
- Ruffo, M.L., D.G. Bullock, y G.A. Bollero. 2004. Soybean yield as affected by biomass and nitrogen uptake of cereal rye in winter cover crop rotations. *Agron J.* 96:800-805.
- Salvagiotti, F., K.G. Cassman, J.E. Specht, D.T. Walters, A. Weiss, y A. Dobermann. 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Res.* 108:1-13.
- Studdert, G.A., y H.E. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci Soc Am J.* 64:1496-1503.
- Taboada, M.A., F.G. Micucci, y C.R. Álvarez. 2010. En: Alvarez R., G. Rubio, C.R. Álvarez, y R.S. Lavado, Ed. Impedancias mecánicas y compactación en sistemas agrícolas. *Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la Región Pampeana*. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 117-154.
- Zadoks, J.C., T.T. Chang, y C.F. Konzak. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.★