

Inclusión de cultivos de cobertura en secuencias agrícolas del sudeste de Córdoba (Argentina)

Cristian R. Cazorla^{1*}, Tomás Baigorria¹, Horacio Videla Mensegue², Alejandra Canale³, Jimena Ortiz¹, y Vanesa Pegoraro¹

- En la región sudeste de Córdoba el cambio de uso del suelo redujo la diversidad y cobertura de suelo, por lo tanto el uso de cultivos de cobertura como antecesores de soja y maíz puede ser una alternativa para revertir esto.
- En nuestro estudio se observó que las coberturas mantuvieron el mismo contenido hídrico del suelo y el rendimiento en soja y maíz comparado al barbecho, destacándose el centeno.
- Se concluye que los cultivos de cobertura son una herramienta adecuada para recuperar la cobertura del suelo, diversificar e intensificar los sistemas de producción.

Introducción

En la provincia de Córdoba (Argentina) se ha observado un incremento en la superficie sembrada con soja (*Glycine max* (L) Merr.) pasando de unas pocas hectáreas en la década del 70 hasta casi 5 millones de hectáreas en la actualidad (Ministerio de Agroindustria, 2017). En el departamento Roque Saenz Peña este incremento estuvo acompañado por una disminución de los sistemas mixtos, los cuales ocupaban un 75% de la superficie, mientras que en la actualidad declinó a un 15% de la superficie con un incremento del cultivo de soja en la rotación (>50%) (Avedano et al., 2017). El uso de monocultivos provoca una disminución en la fertilidad y los nutrientes disponibles para los cultivos (Zhang et al., 2010), además de disminuciones en los contenidos de materia orgánica del suelo (MOS). El mantenimiento y aumento de la MOS es considerado uno de los objetivos primarios en los sistemas agrícolas sustentables (Galantini, 2005). Se estima que desde que se incorporan nuevos suelos a la agricultura hasta establecer sistemas intensivos de cultivo se producen pérdidas de MOS que fluctúan entre 30 y 50% del nivel inicial (Reicosky, 2002). Una alternativa para aumentar los aportes de residuos o disminuir la mineralización del carbono orgánico del suelo (COS) es la utilización de cultivos de cobertura (CC). Los CC son definidos como “cultivos que proveen protección al suelo, a las semillas y mejoras al suelo entre periodos de cultivos de cosecha” (SSSA, 2008).

Si bien hay numerosos antecedentes sobre el efecto positivo de los CC en mejorar las condiciones del suelo (Alvarez et al., 2017), la incorporación de esta estrategia implica mayores costos de insumos y mano de obra. También se reporta una mayor incidencia de plagas y enfermedades, e interferencia en el uso de los recursos tales como el agua del suelo (Pound, 1999). De esta manera, la utilización de CC en regiones con limitantes hídricas puede reducir la disponibilidad de agua para el cultivo siguiente (Blanco Canqui et al., 2015). Los resultados hasta ahora obtenidos muestran que ésta sería la principal limitante de la inclusión de CC invernales en los sistemas de producción de la región central de Córdoba (Basanta et al., 2013). El

consumo de agua por parte de los CC se podría compensar con una mejora en el balance hídrico. Por un lado, se reporta una mejora en la infiltración de agua en el suelo (Alvarez et al. 2016). Por otra parte, hay una disminución de la temperatura superficial que disminuye la evaporación. Esto implica una mejor captación y almacenamiento del agua de lluvia que beneficia a la disponibilidad de agua del suelo para el cultivo principal.

En base a estos antecedentes, se planteó como objetivo evaluar el efecto de la inclusión de CC en los contenidos de agua disponible del suelo y el rendimiento de los cultivos estivales en una rotación soja – maíz de la región sudeste de Córdoba.

Materiales y métodos

Áreas de estudio

Los ensayos se llevaron a cabo en dos localidades del sur de la provincia de Córdoba: Canals (CAN) y Laboulaye (LAB), durante las campañas 2010-2011 y 2011-2012. En el sitio CAN, el ensayo se realizó sobre un suelo clasificado como Haplustol éntico, de textura franco arenosa, con 1.88% de MOS, pH 6.25, CE (dS m⁻¹) de 0,09 y 10 ppm de P Bray a 0-20 cm de profundidad y una capacidad de retención de agua del suelo de 132 mm hasta los 150 cm de profundidad. En el sitio LAB, el ensayo se realizó sobre un suelo clasificado como Haplustol udhorténtico, de textura franco arenosa, con 2.56% de MO, pH 5.7, CE (dS m⁻¹) de 0.06 y 31 ppm de P Bray a 0-20 cm de profundidad y una capacidad de retención de agua del suelo de 152 mm hasta los 150 cm de profundidad. En ambos sitios la napa freática se encontraba entre 150 a 300 cm de profundidad.

Diseño Experimental

Los tratamientos evaluados en una rotación soja-maíz fueron:

- Vicia villosa (*Vicia villosa* roth) (Vicia).
- Centeno (*Secale cereale* L.) (Centeno).
- Testigo sin CC (Testigo).

¹ INTA Marcos Juárez

² AER INTA Laboulaye

³ AER INTA Río Cuarto

* Autor de contacto. Correo electrónico: cazorla.cristian@inta.gob.ar

Tabla 1. Precipitaciones (mm) en diferentes etapas del ensayo en los sitios Canals (CAN) y Laboulaye (LAB) en los años 2010 y 2011.

Sitio	CAN		LAB		
	Año	2010	2011	2010	2011
Etapa 1		105	84	81	90
Etapa 2		171	208	208	150
Etapa 3		412	511	229	478

Etapa 1: Siembra hasta secado del CC; Etapa 2: Secado del CC hasta siembra del cultivo estival; Etapa 3: Siembra hasta cosecha del cultivo estival

En CAN se utilizó además triticale (*X Triticosecale Wittmack*) (Triticale), mientras que en LAB se incluyó avena (*Avena sativa* L.) (Avena). Las unidades experimentales fueron parcelas de 6 x 10 m con un diseño en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. Los CC se implantaron en los meses de marzo-abril en 2010 y abril-mayo en 2011. Todos los cultivos se fertilizaron con 60 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico (18-46-0, 18% N y 20% P) y en CC gramíneas se fertilizó con 120 kg ha⁻¹ de urea (46% N) en el año 2010 y 160 kg ha⁻¹ en el año 2011 solo en CAN. El control de malezas en pre-siembra de los CC se realizó con glifosato. La finalización del ciclo de los CC se realizó con control químico (glifosato y 2.4 D) en los meses de septiembre y octubre en ambos años. En el año 2010 posterior al secado de los CC se sembró soja el 02/11 en CAN mientras que en LAB la fecha fue el 25/11. En el año 2011 posterior al secado de los CC se sembró maíz el 01/12 y 13/12 en CAN y LAB, respectivamente. La densidad de siembra de soja fue de 270 000 plantas por ha, mientras que en maíz fue de 65 000 plantas por ha.

Recolección y procesamiento de datos

Se determinó humedad del suelo a través del método gravimétrico a las profundidades 0-20, 20-40, 40-60, 60-100 y 100-150 en tres momentos: siembra de los CC, secado de los CC y siembra de los cultivos estivales. Se calculó el agua disponible (AD) a través de los valores de densidad aparente y constantes hídricas determinadas para cada horizonte. Luego a través de la sumatoria del AD de cada horizonte se obtuvieron los contenidos de AD total del perfil (0-150 cm). En los CC se midió la materia seca (MS) aérea previo al momento de secado a través de método destructivo con cortes del material en 1 m lineal de suelo en los surcos centrales de cada unidad experimental. Las muestras se colocaron en estufa con ventilación forzada a 60 °C hasta peso constante. Por último se determinó el rendimiento en grano mediante la cosecha manual de 10 m². A partir de los datos obtenidos se calcularon diferentes índices para evaluar el comportamiento de los CC. Se calculó el costo hídrico (CH) de la inclusión de los CC como la diferencia entre el AD al secado de los tratamientos con CC y el AD del tratamiento Testigo. El agua consumida (AC) por los CC se calculó mediante el AD al secado de los CC menos el AD a la siembra de los CC, más las precipitaciones. La eficiencia en el uso del agua (EUA) de los CC se calculó mediante el cociente entre la producción de MS y el AC.

Los resultados fueron evaluados estadísticamente a través de análisis de varianza (ANOVA) y test de comparación de medias LSD de Fisher mediante software estadístico INFOSTAT (Di Renzo et al., 2011).

Las precipitaciones en el año 2010 y 2011 para ambos sitios se pueden observar en la **Tabla 1**. Las menores precipitaciones se observaron en el periodo siembra - secado de los CC (Etapa 1) mientras que las mayores precipitaciones se dieron en el periodo siembra - cosecha de los cultivos estivales (Etapa 3). Las precipitaciones en el periodo secado de los CC - siembra de los cultivos estivales (Etapa 2) fueron superiores a 150 mm en todas las condiciones evaluadas.

Resultados y discusión

Dinámica del agua en el suelo

En el sitio CAN se observaron diferencias en los contenidos de AD al momento de secado de los CC solo en el año 2010, donde el Testigo presentó mayor contenido de AD que los tratamientos con CC. En el sitio LAB, el Testigo presentó mayores contenidos de AD que los CC para ambos años evaluados (**Figura 1A**). A la siembra de los cultivos estivales no hubo diferencias significativas en los contenidos de AD entre los tratamientos con CC y el Testigo. Las precipitaciones en la etapa 2 (secado CC - siembra del cultivo estival) fueron entre 150 y 208 mm en ambos sitios y años evaluados, lo que permitió la recarga del perfil a la siembra de los cultivos estivales.

La disminución en los contenidos de AD del suelo al secado de los CC se ha reportado en algunos estudios. Alvarez et al. (2017) reportaron en un meta-análisis de ensayos con CC de la Argentina, que los CC disminuyen entre 15 y 30% las reservas de AD del suelo. Sin embargo, esta disminución en los contenidos de AD es atenuada por el barbecho de agua que ocurre entre el secado de los CC y la siembra de los cultivos estivales (30 a 45 días). Esto ocurre porque al incorporar CC en las rotaciones se reporta una mejora en la infiltración (Alvarez et al., 2016) que permite aumentar la captación de agua de lluvia. Por otro lado, también se reportan disminuciones en la temperatura superficial del suelo por efecto de los residuos secos de CC, lo que provoca una disminución de la evaporación de agua del suelo (Reeves, 1994). Ambos procesos explicarían la recuperación de los contenidos de AD en las situaciones con CC.

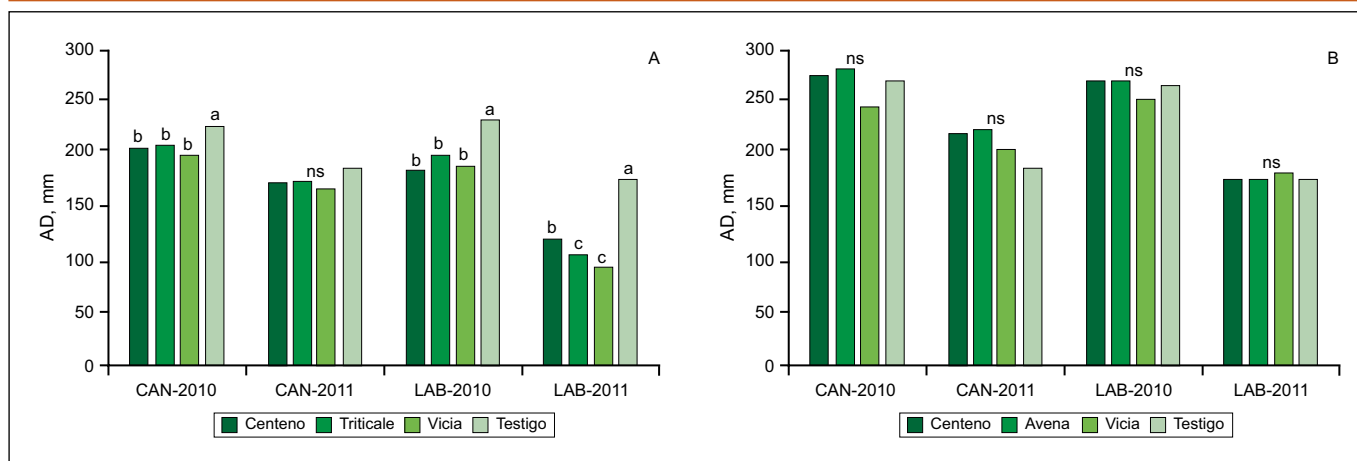


Figura 1. Agua disponible (AD) al secado (A) de los cultivos de cobertura y a la siembra del cultivo de verano (B). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según test de Fisher.

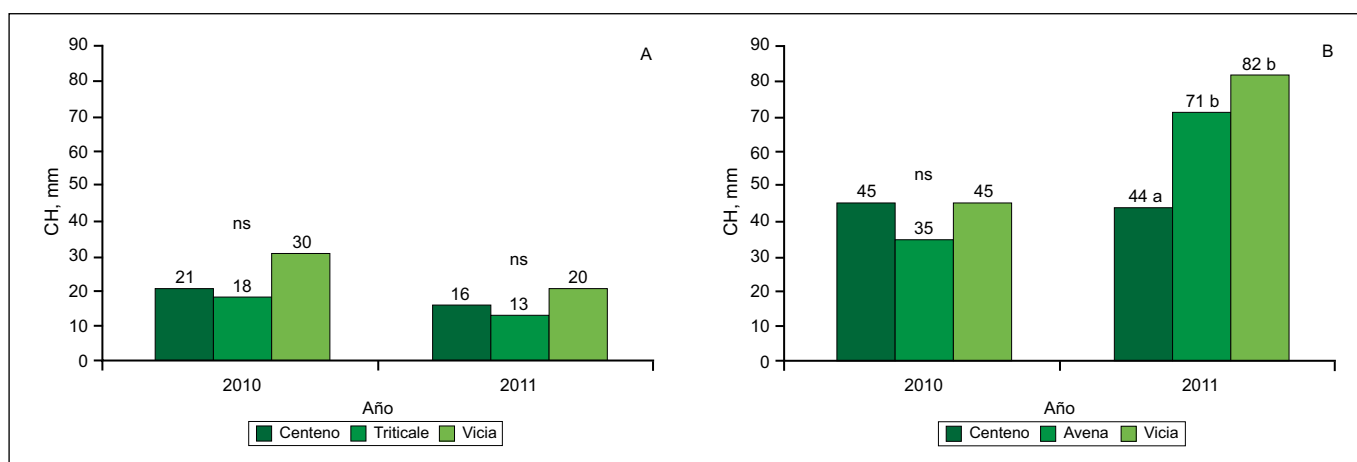


Figura 2. Costos hídricos de los diferentes CC en el sitio Canals (A) y Laboulaye (B). Letras diferentes indican diferencias significativas según LSD Fisher ($p < 0.05$).

En el sitio CAN se observó que el CH fue inferior a 30 mm para todos los CC en ambos años evaluados, sin diferencias significativas entre CC (**Figura 2A**). En cambio en LAB, los CH fueron de 35 a 45 mm en el año 2010 y de 44 a 82 mm en el año 2011 (**Figura 2B**). En este último año, el tratamiento Centeno presentó menor CH que Avena y Vicia. Los mayores CH observados en LAB 2011 se debieron a que los contenidos de AD a la siembra de los CC para ese año fueron de 137 mm, mientras que para el año 2010 los contenidos de AD para el mismo periodo fueron de 190 mm. Las precipitaciones en la etapa 2 fueron similares entre años. Por lo tanto menores contenidos de AD a la siembra de los CC determinaron mayores CH.

Biomasa del cultivo de cobertura y eficiencia de uso de agua

La producción de MS de los CC presentó diferencias dentro de cada año y localidad. En CAN el Centeno tuvo mayor producción de MS que Vicia para ambos años evaluados, mientras que solo presentó mayor acumulación de MS que Tr en el año 2010 (**Figura 3A**). En LAB el C tuvo mayor producción de MS que Avena y Vicia en el año 2010, mientras que en el año 2011 no se observaron diferencias entre CC (**Figura 3B**). Los contenidos de AD a la siembra de los CC en CAN fueron de 235 y 176 mm para los años

2010 y 2011, respectivamente. De igual manera, en LAB fueron de 189 y 136 mm para los años 2010 y 2011, respectivamente. El menor contenido de AD en el año 2011 para ambos sitios determinó una menor producción de MS de los CC con respecto al año 2010 (**Figura 3A**).

En el sitio CAN, las EUA fueron mayores en Centeno y Tr con respecto a Vicia en el año 2010, mientras que en el año 2011, no hubo diferencias significativas en los valores de EUA observados (**Figura 4A**). En el sitio LAB, el Centeno presentó mayor EUA que Vicia para ambos años evaluados, mientras que solo fue mayor que Avena en el año 2011 (**Figura 4B**). Los valores de EUA en Centeno fueron los mayores, con valores de 55 a 113 kg ha⁻¹ de MS por mm⁻¹ de AC, mientras que en Vicia fueron menores, (23 a 39 kg ha⁻¹ de MS por mm⁻¹ de AC). Los valores de EUA permiten identificar que especies logran acumular mayor MS por unidad de AD de suelo consumida. Considerando similares CH de las diferentes especies evaluadas, se destaca el cultivo de Centeno por su alta EUA.

Considerando las variables evaluadas, La inclusión de CC disminuyó el contenido de AD en el perfil al secado de los CC en CAN y LAB. Sin embargo, las precipitaciones fueron suficientes para la recarga del perfil. El C como CC presentó mayor producción de MS, EUA y menores CH que Vicia en ambos sitios y años evaluados.

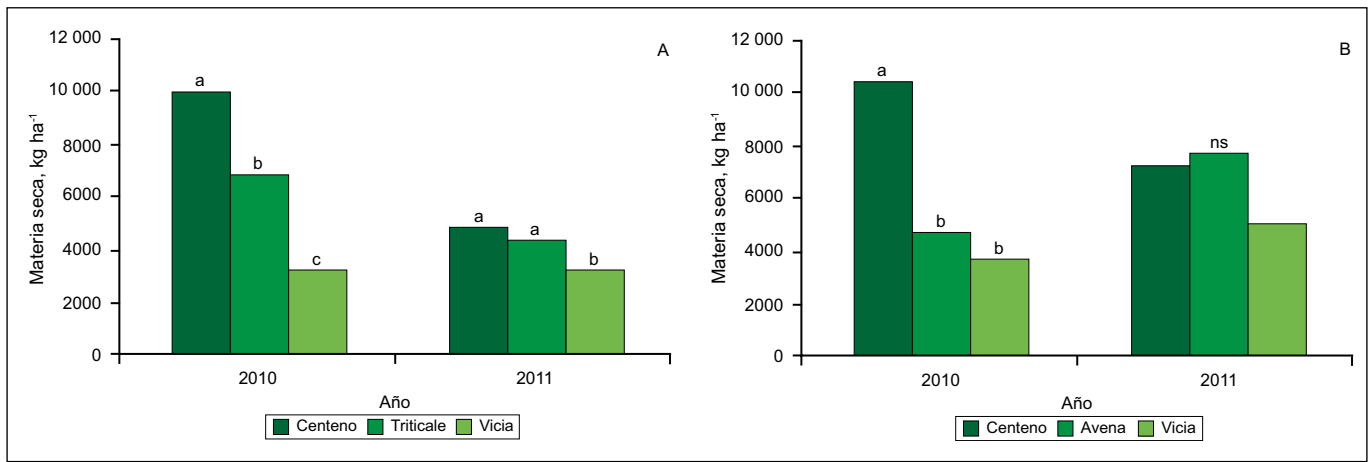


Figura 3. Producción de materia seca al momento del secado de los cultivos de cobertura para Canals (A) y Laboulaye (B). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en el test de Fisher.

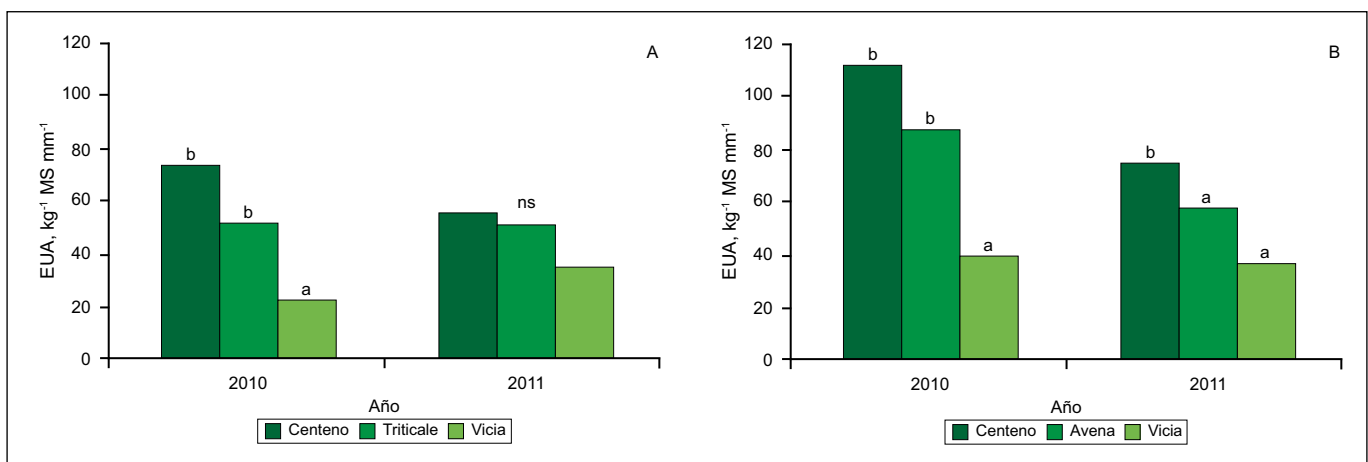


Figura 4. Eficiencia en el uso del agua (EUA) de los cultivos de cobertura para los sitios Canals (A) y Laboulaye (B) en los dos años evaluados. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según LSD Fisher.

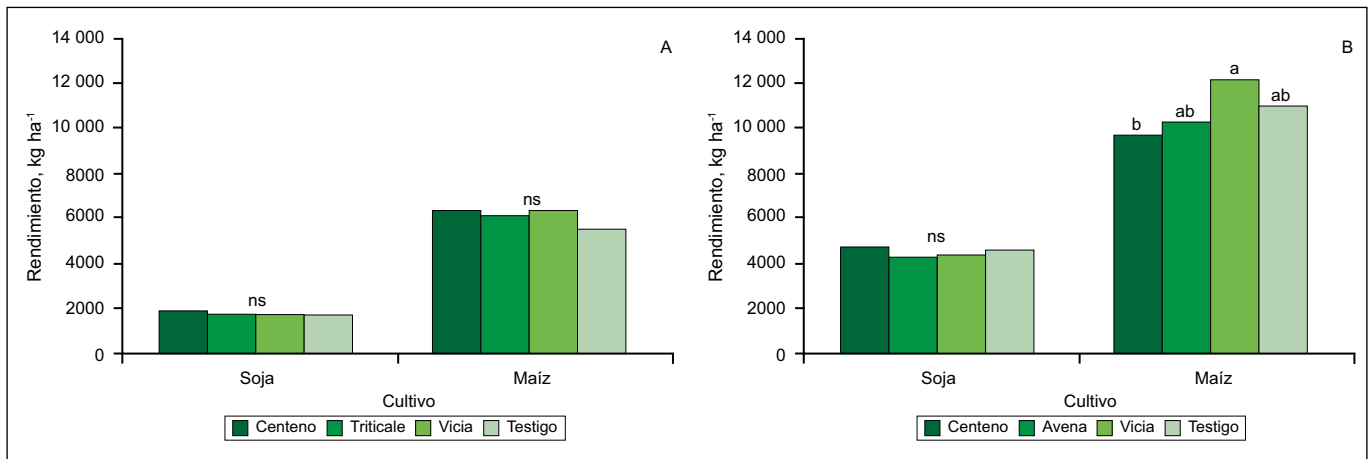


Figura 5. Rendimiento en grano para maíz y soja en Canals (A) y Laboulaye (B) con distintos cultivos de cobertura como antecesor. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según test de Fisher.

Rendimiento del cultivo de cosecha

Los rendimientos de maíz y soja no fueron modificados por la inclusión de CC con respecto al Testigo (**Figuras 5A y 5B**). Sin embargo, se observó en LAB que el tratamiento Centeno provocó una disminución del rendimiento de maíz con respecto a Vicia. Cuando el CC antecesor es una gramínea se ha reportado disminución en el rendimiento de maíz (Salmerón et al., 2010) debido a los bajos

contenidos de N en suelo y a la mayor relación C/N de la biomasa de los residuos que causan inmovilización del N. En cambio, cuando el CC antecesor es una leguminosa se han logrado incrementos en los rendimientos debido a un mayor aporte de N (Cazorla et al., 2013). El rendimiento del cultivo de soja no fue modificado por incluir CC en ninguno de los sitios evaluados (**Figura 5B**). Esto pudo deberse a que los CC no afectaron significativamente los contenidos de AD a la siembra. Si bien se reportan

disminuciones en los contenidos de N del suelo por efecto de los CC, esto no determina disminuciones en el rendimiento de soja. Esto es coincidente con una revisión de ensayos de CC donde se reporta que los CC no afectaron los rendimientos de soja en las regiones sub-húmedas y semiáridas pampeana (Rimski-Korsakov et al., 2015).

Conclusión

La utilización de CC en la región sudeste de Córdoba es una práctica adecuada que permite intensificar y diversificar la secuencia de cultivos sin afectar los contenidos de AD a la siembra de los cultivos estivales ni su rendimiento. El Centeno como CC sería indicado previo a la siembra de soja por la buena producción de materia seca, mientras que, para maíz, Vicia podría ser más conveniente respecto de una gramínea ya que hay riesgo de que estas representen un efecto negativo sobre el rendimiento de maíz.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Proyecto Regional con Enfoque Territorial Agrícola Ganadero del Sudeste (CORDO 1262102) de INTA por financiar las actividades.

Bibliografía

- Alvarez, C., M Barraco, C. Cazorla, J.C. Colazo, J. De Dios Herrero, A. Lardone, P. Girón, S. Restovich, y S. Rillo. 2016. Mejora de propiedades edáficas con inclusión de cultivos de cobertura en agroecosistemas pampeanos. *Proceedings of XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*.
- Alvarez, R, H.S. Steinbach, y J.L. De Paepe. 2017. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. *Soil & Tillage Research* 170:53-65.
- Avedano, L., A Salafia, y H. Videla Mensegue. Informe de situación hídrica del depto. Roque Saenz Peña y zonas aledañas. 2017. http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_exc_hidrico_depsena17.pdf
- Basanta, M., C Alvarez, J.P. Giubergia, y E. Lovera. 2013. Cultivos de cobertura en sistemas de agricultura continua en la región central de Córdoba. *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción*.
- Blanco-Canqui, H., T.M. Shaver, J.L. Lindquist, C.A. Shapiro, R.W. Elmore, C.A. Francis, y G.W. Hergert. (2015). Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Agronomy Journal*, 107(6):2449-2474.
- Cazorla, C., A. Lardone, M. Bojanich, B. Aimetta, D. Vilches, y T. Baigorria. 2013. Antecesoros de maíz: ¿barbecho o cultivos de cobertura? En: *Contribuciones de los Cultivos de Cobertura a la Sostenibilidad de los Sistemas de Producción*. Eds. C. Álvarez et al., Anguil, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología, Agropecuaria Estación Experimental Agropecuaria. pp. 181-185.
- Di Rienzo, J., F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, y C. Robledo. 2011. *InfoStat versión 2011*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Galantini, J. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: *Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios*. (Eds. L. Marban y S. Ratto) de la AACs. Capitulo IV parte 2, pp. 103-114.
- Ministerio de Agroindustria. 2017. Estimaciones agrícolas. Presidencia de la Nación Argentina. Disponible en: <https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/>
- Pound, B. 1999. Cultivos de cobertura para la agricultura sostenible en América. In *Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica"*.
- Reeves, D. 1994. Cover crops and rotations. In *Crops Residue Management, Advances in Soil Science*, ed J Hatfield and B. Stewart, 125-172. Boca Rotan, FL: Lewis Publishers.
- Reicosky, D. 2002. Long - Term Effect of Moldboard Plowing on Tillage -Induced CO₂ Loss, in J. M. Kimble, R. Lai and R. F. Follet: *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. Lewis Publishers. Papers from symposium held July 1999 at Ohio State University, Columbus, Ohio, pp. 87-96.
- Rimski-Korsakov, H., C.R. Alvarez, y R.S. Lavado. 2015. Cover crops in the agricultural systems of the Argentine Pampas. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(6):134-140.
- Salmerón, M., J. Cavero, D. Quilez, y R. Isla. 2010. Winter cover crops affect monoculture maize yield and nitrogen leaching under irrigated Mediterranean conditions. *Agron. J.* 102:1700-1709. doi:10.2134/agronj2010.0180.
- SSSA. 2008. Glossary of soil science terms. SSSA, Madison, WI. doi:10.2136/2008.glossarysoilscienceterms
- Zhang, W.J., X.J. Wang, M.G. Xu, S.M. Huang, H. Liu, y C. Peng. 2010. Soil organic carbon dynamics under long-term fertilizations in arable land of Northern China. *Biogeosciences*, 7:409-25