

Manejo sustentable de sistemas agrícolas en la región central de Córdoba: una experiencia de largo plazo en INTA EEA Manfredi

BASANTA, M.¹; ALVAREZ, C.²

RESUMEN

La principal limitante ambiental para la agricultura de secano en la región central de Córdoba es la disponibilidad hídrica, por lo que toda práctica de manejo que favorezca la captación, almacenamiento y conservación del agua en el suelo redundará en productividades y rendimientos más elevados de los cultivos. En un ensayo de larga duración sobre un suelo Haplustol del centro de la provincia de Córdoba (EEA INTA Manfredi) se evaluó el efecto de diferentes sistemas de labranza y secuencias de cultivo sobre el rendimiento de soja y maíz, el agua útil inicial, el aporte de residuos y el stock de carbono. El rendimiento de soja para el periodo 1997 a 2014 fue en siembra directa en la rotación soja-maíz (SM-SD) y el menor fue en labranza reducida en monocultivo (SS-LR) con diferencias significativas entre tratamientos. El rendimiento de maíz fue significativamente más elevado ($p < 0,05$) en siembra directa (SD) que en labranza reducida (LR) y en siembra directa con cultivo de cobertura (SDcc), no difiriendo estos dos últimos sistemas entre sí. El agua útil inicial a la siembra de soja fue significativamente mayor en los tratamientos de siembra directa con gramíneas en la secuencia (SM-SDcc, SM-SD y SS-SDcc). El stock de carbono también mostró diferencias significativas entre tratamientos, siendo mayor en siembra directa en la secuencia SM (SM-SD y SM-SDcc). Estos resultados permitieron comprobar que en la región central de Córdoba la siembra directa es un sistema de manejo que contribuye a aumentar los rendimientos de los cultivos y el stock de carbono del suelo, lo cual se asocia con la mejora en la condición hídrica del suelo.

Palabras clave: siembra directa, rendimiento, soja, maíz, stock C, agua útil.

ABSTRACT

The main environmental limiting factor for rainfed agriculture in the central region of Córdoba is water availability, so that any management practice promoting soil water captation, storage and conservation will result in higher crop productivity and yields of the soil-crop system. A long term field trial on a Haplustoll soil in the center of Córdoba province was sampled to evaluate the effect of different tillage and crop sequence systems on soybean and maize yields, initial available soil water, crop residues and soil carbon stocks. Mean soybean yields for the 1997-2014 period was significantly higher under no-tillage with soybean-corn sequence, and lower under monocropping and reduced tillage. Maize yield was significantly higher under no-tillage (SD) than

¹INTA EEA Rafaela, Ruta 34 Km 227 (2300), Rafaela, Santa Fe, Argentina. basanta.maria@inta.gov.ar

²INTA EEA Manfredi, Ruta Nac. N.º 9 km 636 (5988), Manfredi, Córdoba, Argentina. alvarez.carolina@inta.gov.ar

under reduced tillage (LR) and under no-tillage with cover crop (SDcc), with no differences between the last. Under soybean initial soil available water was significantly higher in no-tillage treatments including grasses in crop sequences (SM-SDcc, SM-SD and SS-SDcc). The carbon stock was significantly higher under no-tillage and the SM sequence (SM-SD and SM-SDcc). Results show that in the central region of Córdoba no-tillage contributes to increase crop yields and soil carbon stock, which is associated to a better soil water condition.

Keywords: no tillage, yield, soybean, maize, soil C stock, available soil water.

INTRODUCCIÓN

Actualmente los sistemas productivos de la región central de Córdoba (RCC) presentan una gran difusión de la agricultura continua (AC) bajo siembra directa (SD), con predominio de soja [*Glycine max* (L.) Merr.] en monocultivo, en doble cultivo con trigo (*Triticum aestivum* L.) o en rotación con gramíneas como maíz (*Zea mays* L.) o sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench].

La principal limitante ambiental para la agricultura de secano en la RCC es la disponibilidad hídrica debido a la limitada cantidad de precipitaciones anuales y al régimen de tipo monzónico que concentra la mayor cantidad de lluvias en el periodo octubre-marzo. La oferta de agua para los cultivos estivales de secano es incierta en términos de oportunidad, cantidad o frecuencia, de manera particular hacia el comienzo del ciclo (De la Casa y Ovando, 2006). La fecha de inicio del periodo lluvioso es muy errática, puede ocurrir entre los meses de septiembre y diciembre, lo cual condiciona la fecha de siembra de los cultivos. A pesar de que el 80% de las precipitaciones se concentran en el periodo primavero-estival, la elevada demanda atmosférica determina que dicho periodo sea el de mayor déficit hídrico, promediando unos 252 mm de déficit (Casagrande y Vergara, 1996). En las regiones semiáridas, los cultivos de secano están sujetos a condiciones de estrés hídrico en alguna etapa de su desarrollo, lo cual causa disminución del rendimiento o pérdida total del cultivo (Unger, 2002) por lo que el contenido de agua inicial del suelo se torna crítico para la producción de los cultivos (Hatfield *et al.*, 2001).

Toda práctica de manejo que favorezca la captación y conservación del agua en el suelo redundará en una mayor productividad primaria del sistema suelo-cultivo. En este sentido, la SD ha permitido la intensificación de los sistemas de cultivo en las regiones semiáridas debido a la mejora de la eficiencia en el uso del agua en comparación con la labranza convencional (Hatfield *et al.*, 2001). Lenssen *et al.* (2007) han observado que en SD los barbechos previos a la siembra del cultivo estival a menudo presentan mayor cantidad de agua en el suelo comparado con los sistemas convencionales, aun bajo condiciones de sequía.

Han sido extensamente documentados los beneficios de la SD sobre la captura de C en el suelo frente a la liberación de CO₂ hacia la atmósfera que ocurre en suelos laborados, debi-

do a la ruptura de los agregados y la oxidación de la materia orgánica (Balesdent *et al.*, 2000; Abril *et al.*, 2005). En general, los sistemas bajo SD presentan mayores contenidos de carbono orgánico del suelo (COS) y mayor proporción de las fracciones jóvenes de COS que los sistemas con labranzas (Basanta *et al.*, 2010; Irizar *et al.*, 2013; Alvarez *et al.*, 2014).

Para contribuir a una mayor sustentabilidad de los sistemas de producción bajo SD algunos autores sugieren incluir gramíneas que aporten rastrojos voluminosos y de lenta degradación. Una opción es la inclusión de cereales de invierno como cultivos de cobertura (CC) los cuales representan un aporte de biomasa incrementando la captura de carbono en el suelo (Upendra *et al.*, 2005, 2007; Ghiotti y Basanta, 2008). Además, los CC invernales mejoran la eficiencia de uso del agua en los sistemas de agricultura continua, ya que reducen la duración de los barbechos en los cuales el agua del suelo está sujeta a pérdidas por drenaje (Salado-Navarro y Sinclair, 2009) y por evaporación (Salado-Navarro *et al.*, 2013). Sin embargo, el consumo de agua del CC puede reducir la disponibilidad de agua para el cultivo siguiente (Andriulo y Cordone 1998; Salas *et al.*, 2006; Caviglia *et al.*, 2012). El efecto del consumo de agua por parte del CC, respecto a una disminución efectiva el rendimiento del cultivo de renta, dependerá de las lluvias durante el barbecho posterior al secado del CC y de las lluvias durante el ciclo de crecimiento. Un CC sembrado a inicios de otoño llega a encañazón en agosto o septiembre, previo al comienzo de las lluvias de primavera. Por lo tanto, la interrupción del crecimiento del CC en ese estado fenológico permitiría la recarga del perfil hasta la siembra del cultivo siguiente (Basanta, 2015). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes sistemas de labranza y secuencias de cultivo sobre el rendimiento de soja y maíz, el agua útil inicial, el aporte de residuos y el stock de carbono del suelo en un Haplustol del centro de la provincia de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las evaluaciones se realizaron en un ensayo de larga duración iniciado en 1995 en INTA EEA Manfredi (31,5° LS, 63,5° LO). El suelo es un Haplustol éntico (serie Oncativo), profundo, bien drenado, con una capacidad de almacenamiento de agua disponible de 307 mm hasta los 200 cm de profundidad. El horizonte superficial es franco

limoso (arcilla 167 g kg⁻¹, limo 687 g kg⁻¹ y arena 146 g kg⁻¹) (Jarsun *et al.*, 1987). El promedio anual de lluvias es de 757 mm con el 80% concentrado en primavera-verano. La temperatura media anual es de 16,6 °C, la media del mes más frío es de 9,5 °C y la media del mes más cálido es de 23,4 °C.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con arreglo factorial de tratamientos, con dos factores: secuencia de cultivos (Factor S) con dos niveles (SS: soja en monocultivo y SM: rotación soja-maíz) y sistemas de labranza (Factor L) con tres niveles (LR: labranza reducida, SD: siembra directa con barbecho químico y SDcc: siembra directa con cultivo de cobertura (CC), con tres repeticiones para SS y dos para SM. La combinación de ambos factores resulta en seis tratamientos: SS-LR, SS-SD, SS-SDcc; SM-LR, SM-SD y SM-SDcc. Las unidades experimentales tuvieron 110 m de largo y 35 m de ancho (3850 m²). El tratamiento LR constó de una rastra de disco como labor primaria y vibrocultivador previo a la siembra. En SD las malezas fueron controladas con herbicida durante el barbecho. En SDcc el cultivo de cobertura fue triticale (X Triticosecale), el cual se sembró después de soja (todos los años en SS-SDcc y año por medio en SM-SDcc) hasta 2010. A partir de 2011 se sembró también después de maíz en SM-SDcc. El crecimiento del CC se suprimió con aplicación de herbicida entre inicio y plena encañazón (Z3.0-Z3.5 de la escala Zadoks), lo que sucedió entre agosto y septiembre, dependiendo de la fecha de siembra y de las condiciones ambientales de cada año.

Los cultivos de soja y maíz se sembraron, dependiendo de la condición de humedad del suelo, entre octubre y diciembre. La siembra se realizó con sembradora Agrometal MXY con distancia entre surcos de 0,52 m. La densidad de siembra de la soja fue de 25 semillas m⁻¹ y del maíz 4 semillas m⁻¹. La fertilización con fósforo se manejó con criterio de reposición y mantenimiento, utilizando superfosfato triple o fosfato diamónico para mantener los niveles de fósforo en suelo por encima de 20 ppm (Rubio *et al.*, 2004). Para la fertilización nitrogenada en maíz se utilizó el método del balance en función de un rendimiento objetivo fijado anualmente (IPNI, 2015).

En el periodo 1997-2014 se midió anualmente por gravimetría el agua útil inicial (AUi) hasta 200 cm de profundidad (tomando dos muestras por parcela) previo a la siembra. Se evaluaron los rendimientos de maíz y soja, los cuales se expresaron en materia seca (0% de humedad). El aporte anual de carbono (C) al sistema se estimó considerando todos los aportes de residuos vegetales, es decir los rastrojos de soja y maíz y los restos del cultivo de cobertura. En maíz y soja la biomasa de rastrojo se estimó a partir del rendimiento y del índice de cosecha, 0,45 para maíz (Echarte y Andrade, 2003) y 0,40 para soja (Vega *et al.*, 2000) y el aporte de biomasa del triticale se midió anualmente. Se tuvo en cuenta también el C derivado de las raíces, considerando que el aporte de biomasa radical representa el 20% de la biomasa aérea. Se estimó el aporte anual de C considerando que este representa el 40% de la biomasa.

En 2008 se evaluó el stock de carbono orgánico del suelo (COS) hasta 30 cm de profundidad. Para ello se tomaron dos muestras compuestas por parcela a 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 cm de profundidad. La determinación de COS se realizó por combustión en un analizador elemental LECO (LECO Corporation, St. MI, EE.UU.). Previamente se realizó la descarbonación de las muestras que contenían C de carbonatos por el método de Skjemstad y Baldock (2008). La densidad aparente fue determinada con cilindros de 100 cm³ según por el método propuesto por Burke *et al.* (1986).

Para comparar los stocks de COS (Mg ha⁻¹) se consideró la misma masa de suelo en todos los tratamientos, calculando la masa equivalente según la metodología propuesta por Neill *et al.* (1997), que puede ser expresada matemáticamente según Sisti *et al.* (2004) (ecuación 1).

$$COS = \sum_{i=1}^{n-1} COS_{T1} + \left[M_{Tn} - \left(\sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n M_{Si} \right) \right] COS_{Tn} \quad \text{Ec. (1)}$$

donde, COS es el stock de carbono orgánico total (Mg ha⁻¹) en el suelo a una profundidad donde la masa de suelo sea la misma que aquella observada en el perfil utilizado como referencia, $\sum_{i=1}^{n-1} COS_{T1}$ es la suma de contenido de carbono orgánico total (Mg ha⁻¹) desde la capa 1 (superficial) hasta la capa "n-1" (penúltima) del perfil de suelo del tratamiento, $\sum_{i=1}^n M_{S1}$ es la suma de la masa del suelo (Mg ha⁻¹) desde la capa 1 (superficial) a la "n" (última capa) del perfil de suelo de referencia, $\sum_{i=1}^n M_{T1}$ es la suma de la masa de suelo (Mg ha⁻¹) en la capa 1 (superficial) a "n" (última capa) en el perfil de suelo del tratamiento, "M_{Tn}" es la masa de suelo de la última capa del perfil del tratamiento y "COS_{Tn}" es el contenido de COS de la última capa del perfil del tratamiento (Mg Mg⁻¹ suelo), y la concentración de carbono de la última capa del perfil de suelo del tratamiento.

Las variables Rdto y AUi fueron analizadas con ANVA usando un modelo mixto donde las secuencia de cultivo, los sistemas de labranzas y la interacción entre ambos fueron considerados efectos fijos y el factor año como efecto aleatorio. El stock de COS se analizó a través de ANVA utilizando un modelo de efectos fijos. En ambos modelos, se comprobaron los supuestos de normalidad, independencia de las observaciones y homogeneidad de varianzas para las distintas variables analizadas. Ante la existencia de diferencias significativas se aplicó el test de comparación de medias LSD de Fisher (P≤0,05) (Di Rienzo *et al.*, 2015). Además, para rendimiento se analizó la probabilidad empírica, es decir la probabilidad estadística asociada a cada sujeto individual, la cual mide las verdaderas posibilidades reales individuales, en comparación al resto de sujetos de la muestra (Di Rienzo *et al.*, 2015). Gráficamente se relacionan los valores observados de la variable Rdto (eje X) con la función de distribución empírica evaluada en cada uno de los puntos observados (eje Y).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos promedio de soja para el periodo 1997 a 2014 no mostraron interacción significativa de los factores secuencia y labranza para la variable rendimiento (figura 1). El mayor Rdto promedio fue en siembra directa en rotación (SM-SD) y el menor en labranza reducida en monocultivo (SS-LR); dentro de cada secuencia hubo un orden decreciente de Rdto: SD>SDcc>LR, aunque SM-SD y SM-SDcc no difirieron estadísticamente. En ambas secuencias se evidenció la disminución de Rdto en los tratamientos con CC (SDcc), en relación con su testigo sin CC (SD). El desvío estándar entre años fue de 750 kg (p -valor<0,05), el que es atribuible a la variabilidad ambiental de los 18 años de ensayo.

Observando la distribución empírica de los rendimientos de soja (figura 2 a y b) se puede ver que un rendimiento de 2800 kg ha⁻¹ se supera en SD (SD y SDcc) en 5 de

cada 10 años, mientras que en LR en 3 de cada 10 años. Analizando las secuencias de cultivo, un rendimiento de 2800 kg ha⁻¹ se supera en uno de cada cinco años en SM y en cuatro de cada cinco años en la secuencia SS. En la figura 3 se observan los rendimientos promedio del cultivo de maíz para el periodo 1997 a 2014. El Rdto según sistema de labranza presentó el siguiente orden decreciente: SD>SDcc=LR, que es en SD 27% superior que en el resto de los tratamientos. Nuevamente se observó que los beneficios de la siembra directa sobre la condición del suelo y la conservación del agua se traducen en rendimientos más altos. Analizando la distribución empírica del rendimiento de maíz (figura 4) se observa que un rendimiento de 7000 kg ha⁻¹ se supera en 5 de cada 10 años en SD mientras que en LR y SDcc en 3 de cada 10 años.

Ha sido ampliamente documentado que el almacenamiento de agua del suelo en regiones semiáridas se incre-

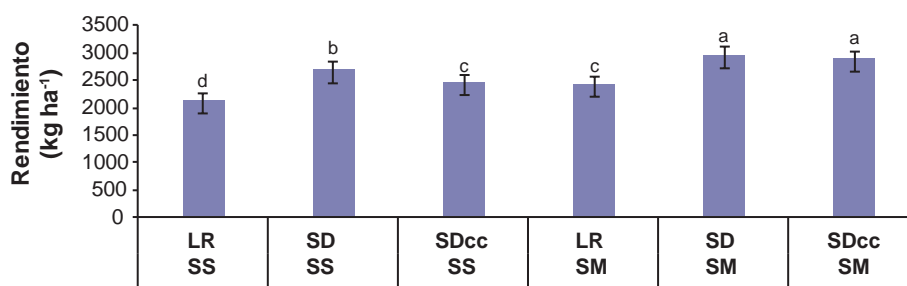


Figura 1. Rendimiento de soja (1997 a 2014). Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher, $p \leq 0,05$). SS, soja-soja; SM, soja-maíz; LR, labranza reducida; SD, siembra directa; SDcc, siembra directa con cultivo de cobertura.

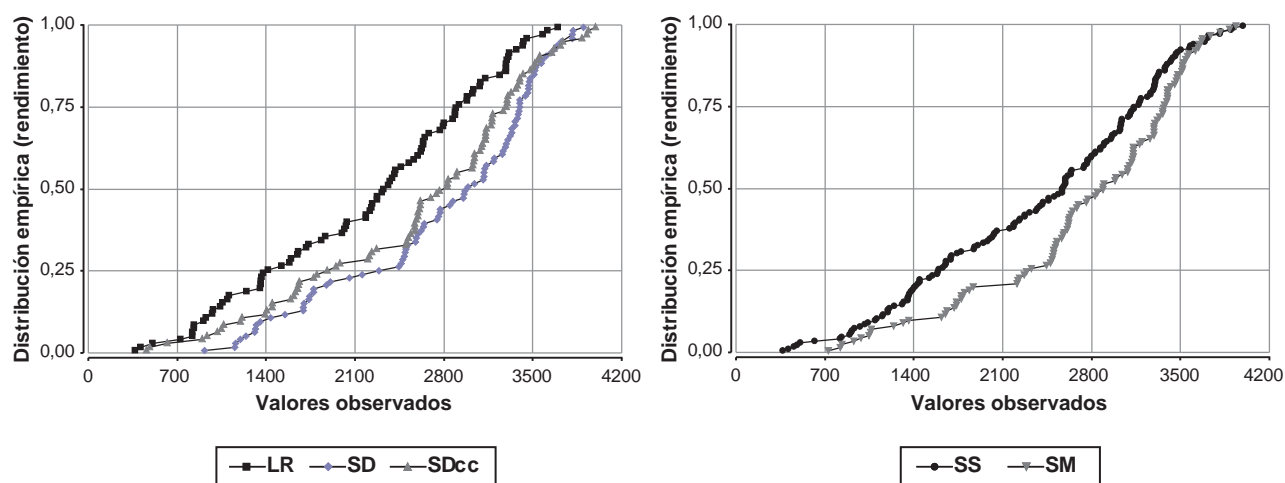


Figura 2. Distribución empírica de los rendimientos de soja (a) el factor labranza y (b) el factor secuencia. SS, soja-soja; SM, soja-maíz; LR, labranza reducida; SD, siembra directa; SDcc, siembra directa con cultivo de cobertura.

menta con la cantidad de residuos mantenidos en superficie (Unger *et al.*, 1991). Evaluando el agua acumulada en el suelo (AUi) previo a la siembra del cultivo de soja (figura 5) y de maíz (figura 6) se observó que los sistemas bajo

SD resultaron ser más eficientes en el almacenamiento de agua en el suelo que el sistema con laboreo (LR). Además en soja, el AUi fue superior en la rotación soja-maíz (SM) respecto al monocultivo (SS). Esto se debe a que el rastreo de maíz, por su mayor volumen, mejor cobertura y mayor duración, es más eficiente en la captación y conservación el agua que el rastreo de soja. En SDcc en ambas secuencias el CC disminuyó el AUi afectando significativamente el rendimiento de soja en monocultivo (figura 1) y de maíz (figura 3). En el caso del maíz, además del efecto sobre el AUi, es posible que el rendimiento haya sido afectado por la inmovilización del nitrógeno en los residuos con alta relación C/N del triticale (Vigil y Kissel, 1991; Mary *et al.*, 1996).

Se encontró una relación lineal positiva entre el rendimiento de soja y el agua útil inicial (figura 7). Es interesante observar que los sistemas sin laboreo son los que presentan más agua útil a la siembra y eso se tradujo en mayores rendimientos. Así, dentro del monocultivo de soja, la siembra directa al conservar mejor el agua durante el barbecho permitió obtener mayores rendimientos que la labranza con rastra de discos (LR). Cuando se introdujo un cultivo de cobertura en SD entre soja y soja (SS-SDcc), ocurrió una disminución del agua útil a la siembra que redujo el rendimiento del cultivo de soja quedando en valores intermedios entre SD y LR. A su vez, en la rotación SM ocurrió algo similar si se compara SD con LR, aunque en este caso debido a que no hay cultivo de cobertura antes de la soja, los sistemas SD y SDcc no se diferenciaron.

En maíz (figura 8) el rendimiento aumentó de unos 5500 kg ha⁻¹ a más de 7000 kg ha⁻¹, como resultado de incrementos en AUi de 125 mm a 190 mm. Los rendimientos más altos se obtuvieron en SD como consecuencia de mayor AUi. El tratamiento con cultivo de cobertura previo al maíz (SDcc), presentó alta variabilidad en el AUi comportándose en algunos años como LR y en otros como SD.

Los valores anuales promedio de aportes de residuos y de C en las dos secuencias de cultivo o se incrementaron de LR a SD y la inclusión del CC en SD mejoró los niveles de aporte de C (tabla 1). El sistema con mayores aportes resultó ser la siembra directa en rotación SM con cultivo de cobertura (SS-SDcc), donde la biomasa del CC mejoró

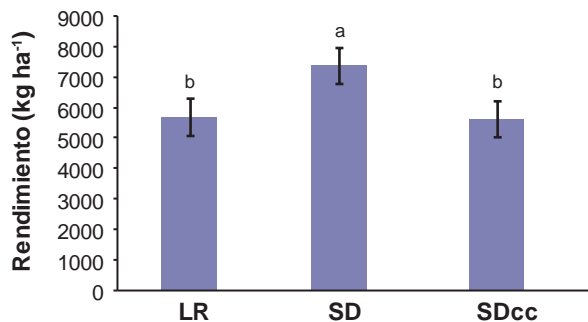


Figura 3. Rendimiento de maíz (1997-2014). Letras diferentes indican diferencias significativas para sistemas de labranza (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). LR, labranza reducida; SD, siembra directa; SDcc, siembra directa con cultivo de cobertura.

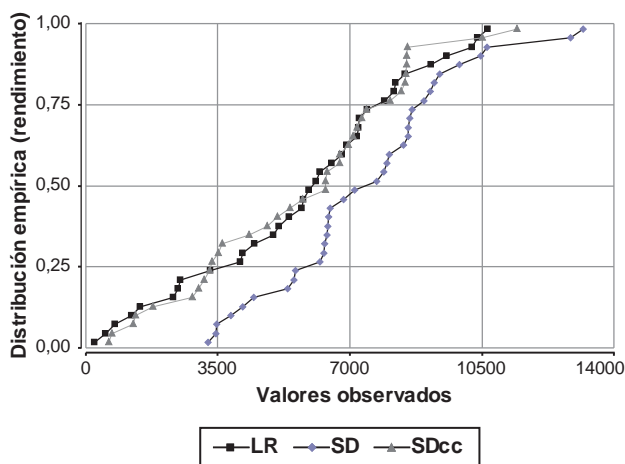


Figura 4. Distribución empírica de los rendimientos de maíz para el factor labranza. SD, siembra directa; SDcc, siembra directa con cultivo de cobertura; LR, labranza reducida.

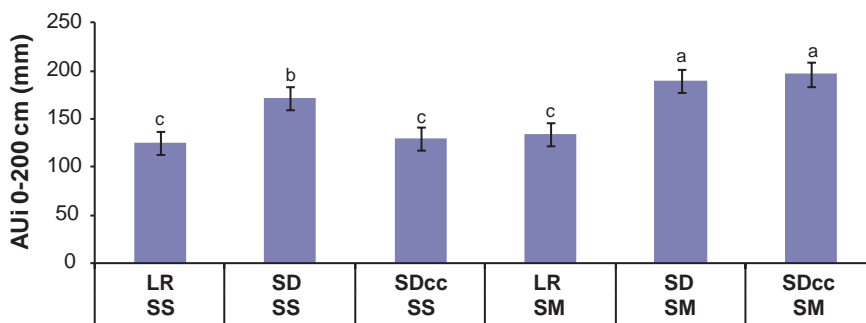


Figura 5. Agua útil inicial de soja (promedio periodo 1997-2014). Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). SS, soja-soja; SM, soja-maíz; LR, labranza reducida; SD, siembra directa; SDcc, siembra directa con cultivo de cobertura.

los aportes de C, aun con la disminución de la biomasa de rastrojo del maíz debido a los menores rendimientos en SDcc con respecto a SD (figura 3). En términos relativos, SM-SDcc aportó 1,4 veces más C que el sistema menos sustentable (SS-LR) y la inclusión del CC incrementó los

aportes de C con respecto a SD en 33% en SS y 21% en SM. En relación con el monocultivo de soja, Martínez *et al.* (2013) han constatado que la inclusión de una gramínea como CC mejora el balance de carbono del suelo incrementando la productividad y la sostenibilidad del sistema.

Los mayores aportes de residuos pueden resultar en mayores contenidos de carbono en el suelo. Como se observa en la tabla 2, los tratamientos de la secuencia SM en combinación con siembra directa (SM-SDcc y SM-SD) tuvieron los mayores stocks de COS, mientras que los tratamientos bajo LR (SM y SS) tuvieron los menores stocks de COS. Esto puede atribuirse al favorecimiento de la mineralización de la materia orgánica en los sistemas laboreados, debido a mayor temperatura y menor protección física, provocando liberación de nutrientes y pérdidas de C como CO₂ (Abril *et al.*, 2005).

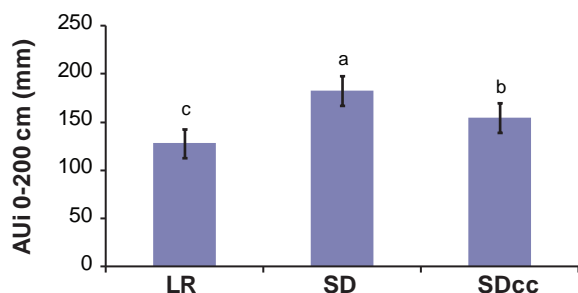


Figura 6. Agua útil inicial de maíz (promedio periodo 1997-2014). Letras diferentes indican diferencias significativas para sistemas de labranza (LSD Fisher, $p \leq 0,05$). LR, labranza reducida; SD, siembra directa; SDcc, siembra directa con cultivo de cobertura.

CONCLUSIONES

El análisis de la información generada en esta experiencia de larga duración permite comprobar que la SD en la

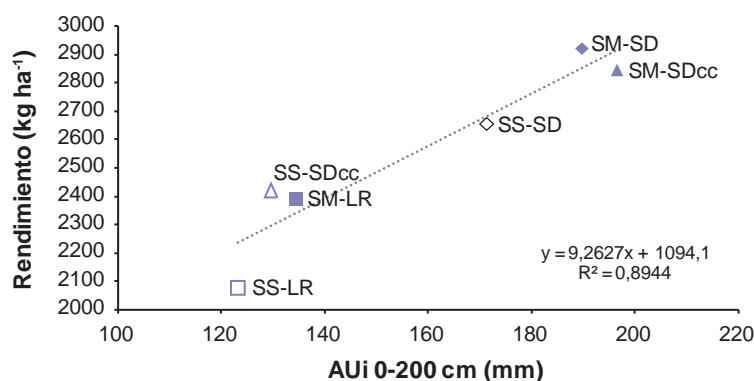


Figura 7. Rendimiento de soja en función del agua útil inicial (AUi) (1997-2014) para los tratamientos SS-SD (soja-soja en siembra directa); SS-SDcc (soja-soja en siembra directa con cultivo de cobertura), SS-LR (soja-soja en labranza reducida); SM-SD (soja-maíz en siembra directa); SM-SDcc (soja-maíz en siembra directa con cultivo de cobertura); SM-LR (soja-maíz en labranza reducida).

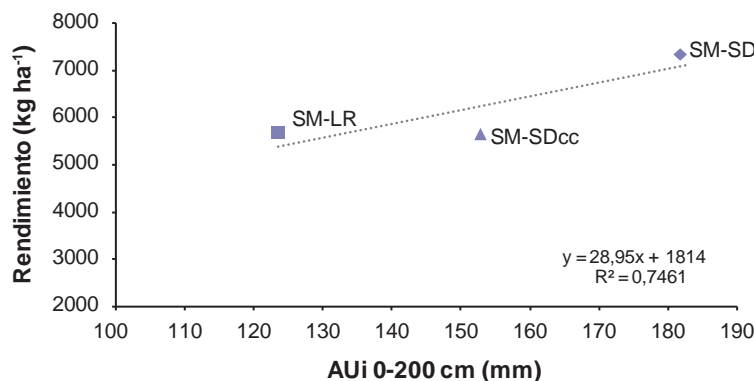


Figura 8. Rendimiento de maíz en función del agua útil inicial (AUi) (1997-2014) para los tratamientos SM-SD (soja-maíz en siembra directa); SM-SDcc (soja-maíz en siembra directa con cultivo de cobertura); SM-LR (soja-maíz en labranza reducida).

Secuencia	Labranza	Aporte de residuos (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Aporte de C (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Aporte relativo de C
SS	LR	4245	1698	100
	SD	5428	2171	128
	SDcc	7243	2897	171
SM	LR	6614	2645	156
	SD	8399	3359	198
	SDcc	10176	4070	240

Tabla 1. Aporte anual promedio de residuos y de carbono en los distintos sistemas de manejo (1997-2014).

Secuencia	Labranza	Stock COS 0-30 cm (Mg ha ⁻¹)	E.E.
SM	LR	36	b
	SD	41	a
	SDcc	42	a
SS	LR	36	b
	SD	37	b
	SDcc	39	ab
Secuencia			
SM		40	
SS		37	
Labranza			
	LR	36	
	SD	39	
	SDcc	41	
Valor p			
Secuencia x Labranza		(0.034) ^a	
Secuencia		(<0.001)	
Labranza		(<0.001)	

Tabla 2. Stock de carbono orgánico del suelo en los distintos sistemas de manejo.

^a: p-valor; test LSD Fisher (P≤0.05). Letras diferentes indican diferencias significativas para los factores o su interacción según corresponda. SM: soja-maíz, SS: soja-soja, LR: labranza reducida, SD: siembra directa, SDcc: siembra directa con cultivo de cobertura. Adaptado de Alvarez *et al.*, 2014.

región central de Córdoba es un sistema de manejo que contribuye a aumentar los rendimientos de los cultivos, principalmente porque mejora la condición hídrica del suelo. La combinación de la rotación soja-maíz con un cereal de invierno como cultivo de cobertura en SD produjo importantes aportes de C de la biomasa vegetal que incrementaron el stock de carbono del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se financió con fondos de los Proyectos Nacionales PNCYO-1127032, PNSUELO-1134042 y PNSUELO-1134023 y del Proyecto Regional con Enfoque Territorial CORDO-1262205 del INTA.

BIBLIOGRAFÍA

ABRIL, A.; SALAS, P.; LOVERA, E.; KOPP, S.; CASADO-MURILLO, N. 2005. Efecto acumulativo de la siembra directa sobre algunas características del suelo en la región semiárida central de la Argentina. *Ciencia del Suelo (Argentina)*. 23 (2):179-188.

ALVAREZ, C.; ALVAREZ, C.R.; COSTANTINI, A.; BASANTA, M. 2014. Carbon and nitrogen sequestration in soils under different management in the semi-arid Pampa (Argentina). *Soil & Till. Res.* 142: 25-31.

ANDRIULO, A. y Cordone, G. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. En: Panigatti J.L., Marelli H., Buschiazzo D.y R. Gil. (Ed.). *Siembra Directa*. INTA. Hemisferio Sur. p. 65-96.

- BALESDENT, J.; CHENU, C. y BALABANE, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Till. Res.* 53: 215-230.
- BASANTA, M. 2015. Cultivos de cobertura: alternativa para intensificar y diversificar los sistemas de agricultura continua. En: *Información Técnica de trigo y otros cultivos de invierno. Campaña 2015*. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea 129. p. 119-125.
- BASANTA, M.V.; GHIOTTI, M.L.; GIUBERGIA, J.P.; LOVERA, E. 2010. Fracciones de carbono orgánico en un Haplustol bajo sistemas de agricultura continua en la región central de Córdoba. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Disponible en CD.
- BURKE, W.; GABRIELS, D.; BOUMA, J. 1986. Soil structure assessment. A. A. Balkema. Rotterdam. 92 pp.
- CASAGRANDE, G.A. y VERGARA, G.T. 1996. Características climáticas de la región. 1996. En: Panigatti J., Buschiazzi D. y F. Babinec. (Ed.) *Labranzas en la región Semiárida Argentina*. p. 11-17.
- CAVIGLIA, O.; NOVELLI, L.; GREGORUTTI, V.; VAN OPSTAL, N.; MELCHIORI, R. 2012. Cultivos de cobertura invernales: una alternativa de intensificación sustentable en el centro-oeste de Entre Ríos. En: Álvarez, C.; Quiroga, A.; Santos, D.; Bodrero, M. (Ed.) *Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción*. 1.º ed. La Pampa: Ediciones INTA. p. 148-157.
- DE LA CASA, A.; OVANDO, G. 2006. Relación entre la precipitación e índices de vegetación durante el comienzo del ciclo anual de lluvias en la provincia de Córdoba, Argentina. *RIA*, 35 (1): 67-85.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. *InfoStat* versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- ECHARTE, L.; ANDRADE, F.H. (2003) Harvest index stability of Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. *Field Crop Res* 82:1-12.
- GHIOTTI, M.L.; BASANTA, M. 2008. Efecto de distintos sistemas de manejo sobre las fracciones de materia orgánica en un Haplustol del centro de la provincia de Córdoba. *Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, San Luis, 13 al 16 de mayo de 2008. En CD.
- HATFIELD, J.L.; SAUER, T.J.; PRUEGER, J.H. 2001. Managing Soils to Achieve Greater Water Use Efficiency: A Review. *USDA-ARS/UNL Faculty. Paper 1341*. <http://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1341>.
- IPNI, 2015. [Ipni.net](https://www.ipni.net). <https://www.ipni.net/app/calculator/home>. Revisado 01/06/2015
- IRIZAR, A.; ANDRIULO, A.; MARY, B. 2013. Long-term Impact of No Tillage in Two Intensified Crop Rotations on Different Soil Organic Matter Fractions in Argentine Rolling Pampa. *The Open Agriculture Journal*, 7: 22-31.
- JARSUN, B.; BOSNERO, H.; LOVERA, E. 1987. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3163-32 Oncativo. Plan Mapa de suelos. INTA. pp. 82.
- LENSSSEN, A.W.; JOHNSON, G.D.; CARLSON, G.R. 2007. Cropping sequence and tillage system influences annual crop production and water use in semiarid Montana, EE.UU. *Field Crops Res.* 100:32-43.
- MARTÍNEZ, J.P.; BARBIERI, P.A.; SAINZ ROSAS, H.R.; ECHEVERRÍA, H.E. 2013. Inclusion of Cover Crops in Cropping Sequences with Soybean Predominance in the Southeast of the Humid Argentine Pampa. *The Open Agriculture Journal*, 7, (Suppl 1-M2): 3-10.
- MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D.; ROBIN, D. 1996. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant and Soil* 181: 71-82.
- NEILL, C.; MELILLO, J.; STEUDLER, P.A.; CERRI, C.C.; MORAES, J.F.L.; PICCOLO, M.C.; BRITO, M. 1997. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in southwestern Brazilian amazon. *Ecological Applications* 7: 1216-1225.
- RUBIO, G.; CABELLO, M.J.; GUTIÉRREZ BOEM, F.H. 2004. ¿Cuánto fósforo hay que aplicar para alcanzar el umbral crítico de fósforo disponible en el suelo? II. Cálculos para las zonas Sur y Norte de la Región Pampeana. *Informaciones Agronómicas IPNI*, 35: 6-10.
- SALADO-NAVARRO, L.R.; SINCLAIR, T.R. 2009. Crop Rotations in Argentina: Analysis of water balance and yield using crop models. *Agr. Syst.* 102:11-16.
- SALADO-NAVARRO, L.R.; SINCLAIR, T.R.; MORANDINI, M. 2013. Estimation of Soil Evaporation During Fallow Seasons to Assess Water Balances for No-Tillage Crop ROTATIOS. *JOURNAL OF AGRONOMY AND CROP SCIENCE*, 199(1):57-65.
- SALAS, P.; LOVERA, E.; BASANTA, M.; GIUBERGIA, J.; MARTELLOTTO, E.; SALINAS, A. 2006. Disponibilidad de agua y producción de soja y maíz en función del manejo en la región central de Córdoba. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy (Resumen expandido editado en CD).
- SISTI, C.P.J.; DOS SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. 2004. Changes in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil Tillage Res.* 76, 39-58.
- SKJEMSTAD, J.O.; BALDOCK, J.A. 2008. Total and Organic Carbon. En: *Soil Sampling and method of analysis*. Second Ed. Ed.: Karter MR and Gregorich EG. Canadian Society of Soil Science. CRC press. Boca Raton, FL, US.
- UNGER, P.W.; STEWART, B.A.; PARR, J.F.; SINGH, R.P. 1991. Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. *Soil & Till. Res.*, 20: 219-240.
- UNGER, P.W. 2002. Conservation Tillage for improving dryland crop yields. *Ciencia del Suelo*, 20(1):1-8.
- UPENDRA, M.S.; SINGH, B.P.; WHITEHEAD, W.F. 2005. Tillage, cover crop, and nitrogen fertilization effects on Cotton and sorghum root biomass, carbon and nitrogen. *Agron. J.* 97: 1279-1290.
- UPENDRA, M.S.; SCHOMBERG, H.H.; SINGH, B.P.; WHITEHEAD, W.F.; TILLMAN, P.G.; LACHNICH-WEYERS, S.L. 2007. Cover crop effect on soil carbon fractions under conservation tillage cotton. *Soil Till. Res.* 96: 205-218.
- VEGA, C.R.C.; SADRAS, V.O.; ANDRADE, F.H.; UHART, S.A. 2000. Reproductive allometry in soybean, maize and sunflower. *Ann Bot* 85:461-468.
- VIGIL, M.F.; KISSEL, D.E. 1991. Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 757-761.