



Efectos de cultivos de cobertura sobre agua del suelo, aportes de carbono y el rendimiento de soja en diferentes ambientes.

Capurro, J.E.¹; Montico, S.²

1AER INTA Cañada de Gómez. Lavalle 1466 (2500) Cañada de Gómez, Santa Fe, República Argentina. 03471- 422074. capurro.julia@inta.gov.ar - 2 Cátedra Manejo de Tierras FCA, UNR. CC N° 14 (2125) Bv. Villarino, Zavalla, Santa Fe, República Argentina. 0341- 4970080

 Palabras clave: secuencia de cultivos, condición edáfica, erosión hídrica.

Resumen

Se evaluó en una secuencia soja-soja y sobre un suelo Argiudol típico, el efecto de un CC de avena (*Avena sativa* L.) y vicia (*Vicia sativa* L.), en el aporte de materia seca (MS) y carbono (C), el agua útil disponible (AUD) y el rendimiento del cultivo de soja sucesor, en distintos ambientes diferenciados por pendiente, en un lote agrícola de Santa Fe, Argentina. Las parcelas con CC (CCC) mostraron una mejora en la capacidad de almacenar el agua de las precipitaciones, respecto de las sin CC (SCC). Las parcelas CCC tuvieron más C proveniente de la MS de los CC y la soja implantada a continuación, en Loma y Media Loma que en Bajo. Los rendimientos de soja fueron superiores en todas las parcelas CCC. Los incrementos de rendimiento de soja en CC se explicaron por el aumento del número de granos (NG) y del peso de mil semillas (P1000).

Introducción

Según Dechen *et al.* (2004), la degradación del suelo puede ser entendida como la reducción de su calidad y productividad, debido principalmente a acciones inducidas por el hombre. La consecuencia de esto es la pérdida de la sustentabilidad, traducida en una disminución de la capacidad del suelo de producir en determinado sistema de manejo. El uso de la

tierra para fines agrícolas es una de las principales causas de degradación del suelo, y por lo tanto existe un gran interés en la cuantificación de la pérdida de calidad del suelo generada por el manejo agrícola (Lal *et al.*, 1998 citados por Duval *et al.*, 2016).

Las secuencias de soja (*Glycinemax* L. Merr.) continua, que ocupa actualmente una gran superficie del área cultivada en la región pampeana húmeda argentina, afectan la productividad y sustentabilidad de esos ambientes. En estas secuencias, los lotes agrícolas permanecen con escasa cobertura durante buena parte del ciclo productivo, ya que los residuos de la oleaginosa se descomponen rápidamente a medida que transcurre el período de barbecho. En los suelos en ambientes ondulados, esta condición se incrementa dado que el agua de los escurrimientos superficiales arrastra los rastrojos hacia las zonas más bajas de los lotes. Por otra parte, una gran proporción de la oferta anual de recursos del ambiente útiles para la productividad agrícola, principalmente agua y radiación solar, son desaprovechados al realizar un solo cultivo por año, lo que torna en sumamente ineficientes a los actuales sistemas productivos (Caviglia *et al.*, 2004). La evaporación es el principal factor de pérdida de agua de los suelos (Quiroga *et al.*, 2005) estimándose que entre el 50 % y 70 % de la precipitación anual retorna directamente a la atmósfera sin intervenir en el proceso productivo. La pérdida de agua por evaporación desde la superficie del suelo puede reducirse con coberturas vivas como cultivos de cobertura (CC) que al aumen-



tar la transpiración, reasignan el agua potencialmente evaporada al flujo transpiratorio de las plantas (Lu *et al.*, 2000 citado por Carfagno *et al.*, 2013a).

Los CC se siembran en la región pampeana argentina, mayoritariamente, luego de la cosecha de un cultivo de verano, crecen durante los meses de otoño, invierno y principios de la primavera, y se suprime su crecimiento en forma química o mecánica, antes de la siembra del cultivo estival siguiente. También pueden ser aprovechados parcialmente como forrajes, en sistemas de producción mixtos o integrados. De esta forma se incorpora carbono al sistema, se utilizan insumos del ambiente que hubieran sido desaprovechados, se exploran a través de sus raíces sectores compactados por la maquinaria agrícola y se aumenta la cobertura superficial. Cuando el CC utilizado es una leguminosa, se logra además un ingreso adicional de nitrógeno (N), lo que puede representar una ventaja económica agregada (Ernst, 2004). La mayor cobertura podría mejorar el balance de agua del perfil edáfico durante el verano siguiente y disminuir los escurrimientos superficiales, causando de la pérdida de suelo por erosión hídrica.

La incorporación de un CC invernal en la secuencia soja-soja, podría ocasionar variaciones de la productividad del cultivo de cosecha, según los tipos y calidad de ambientes donde se realicen. Este trabajo tuvo como propósito evaluar el efecto de la de la secuencia CC-soja, en el almacenaje de agua del suelo, en el aporte de materia seca y carbono, y en algunos

componentes de rendimiento del cultivo de soja, en distintos ambientes diferenciados por la pendiente.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en un lote agrícola de Cañada de Gómez, Santa Fe, Argentina (32° 52' 33" Sur y 61° 26' 59" Oeste, altitud media de 114 m). El suelo es un Argiudol típico serie Correa (horizonte superficial 0-16 cm: arcilla 23,5%; arena 7,0%; limo 69,5%). En la Tabla 1 se indican los valores medios y extremos de temperatura, humedad relativa y heladas de la estación Rosario del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1988).

El régimen pluviométrico tiende a ser monzónico, con un 70 % de las lluvias concentradas en el verano, de octubre a marzo. En la Figura 1 se muestran los valores medios de precipitaciones en Cañada de Gómez (datos INTA Agencia de Extensión Rural Cañada de Gómez, no publicados), correspondientes al período 1957/2012 y los registros de las lluvias caídas durante el período de estudio, 2012/2013.

En el sitio experimental se estableció un diseño en parcelas divididas, en donde las parcelas mayores correspondieron al factor ambiente con tres niveles: Loma (pendiente: 0,15%), Media Loma (pendiente: 0,90%) y Bajo (pendiente: 0,10%) y las parcelas menores correspondieron al subfactor tratamiento, con dos niveles: CCC (con cultivos de cobertura) y SCC



Tabla 1. Valores medios y extremos de temperatura, humedad relativa y heladas de la Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3360-13 y 14. Cañada de Gómez y Rosario. Período 1901-1980

Variables climáticas	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Temperatura media °C	24,4	23,6	21,5	17,5	14,8	10,7	10,8	11,8	14,3	17,2	20,4	23,1	17,5
Temperatura máxima absoluta °C	43,5	41	38,7	35,4	31,3	29,6	31,3	33,4	35,6	39,1	39,5	41,5	43,5
Temperatura máxima media °C	31,2	30,3	27,6	23,4	19,6	16	16	17,6	20,4	23,2	26,9	29,6	23,5
Temperatura mínima media °C	18,6	18,1	16,5	12,9	9,7	6,5	6,3	6,7	8,8	11,6	14,4	17	12,3
Temperatura mínima absoluta °C	7	5,6	2,4	-1,5	-5,6	-8,1	-8,8	-5,8	-6,3	-1,2	1,2	4,2	-8,8
Humedad relativa media %	67	70	74	78	81	80	79	74	72	71	70	68	74
Frecuencia media de días con heladas	0	0	0	0,1	1,3	4,4	5,2	3,6	1,2	0,2	0	0	16
Heladas	Primeras heladas					Últimas heladas					Período medio libre de heladas		
	Fecha media		Variabilidad			Fecha media		Variabilidad			275 días		
	03-jun		(+/-) 20 días			04-sep		(+/-) 25 días					



(sin cultivos de cobertura). De esta forma, quedaron definidas seis combinaciones de ambientes y tratamientos: Loma SCC, Loma CCC, Media Loma SCC, Media Loma CCC, Bajo SCC y Bajo CCC. Las dimensiones de cada parcela fueron de 30 m por 50 m, y se distribuyeron en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. El 8 de mayo se implantó una mezcla de avena (*Avena sativa* L.) y vicia (*Vicia sativa* L.) con una densidad de siembra de 88 kg.ha⁻¹, a fin de lograr 200 plantas por metro cuadrado (pls.m⁻²) y una relación de consociación 50:50 de cada especie.

Al momento de la supresión química del crecimiento de los CC, la producción de materia seca (MS) se obtuvo mediante tres muestras de 0,25 m² de la parte aérea del CC en cada parcela. Se llevó a estufa a 65°C hasta peso constante. Se calculó la producción de MS en kg.ha⁻¹. La siembra del cultivo de soja se efectuó el 13 de octubre, luego de 28 días de la supresión del crecimiento de los CC, a una densidad de 34 semillas por metro cuadrado.

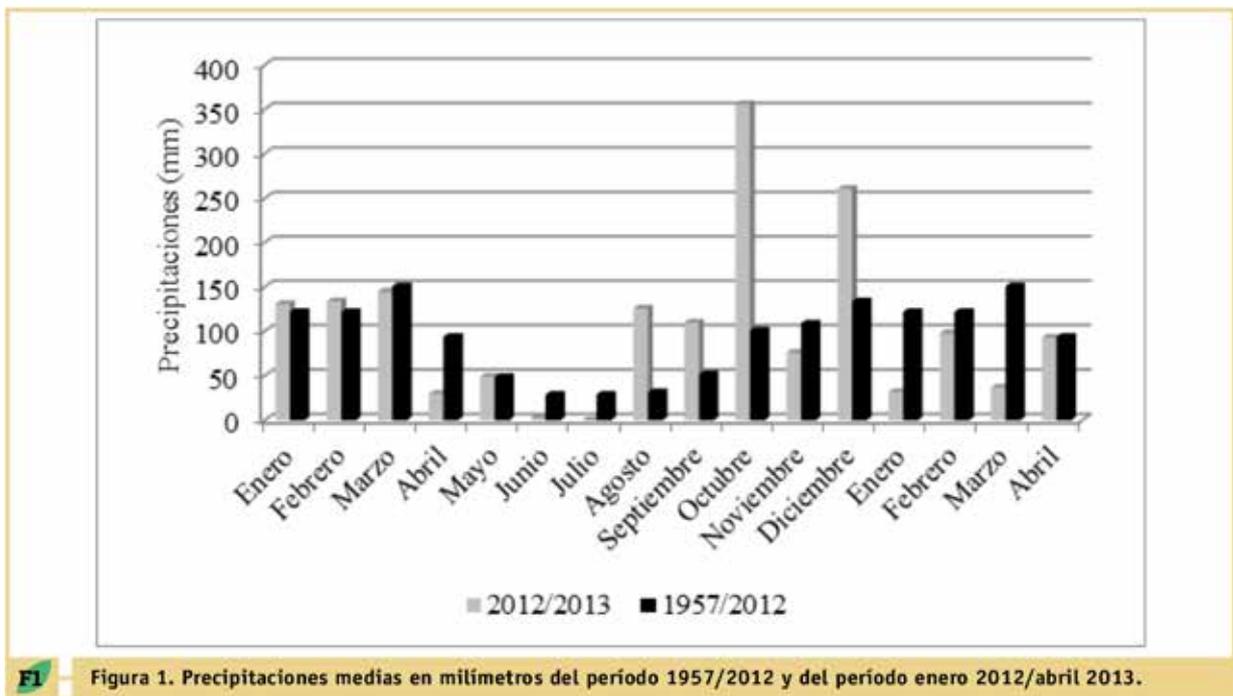
Se midió el agua útil disponible (AUD) en mm hasta dos metros de profundidad con una sonda de neutrones marca Troxler. Las determinaciones se realizaron en cinco momentos del estudio: siembra de los CC, secado de los CC, siembra de soja, R1 de soja y R5 de soja (n=5).

En el estadio R6 del cultivo de soja, se extrajeron 3 muestras de 1 m lineal de surco (0,525 m²) de parte aérea de plantas en cada parcela. Se obtuvo

el peso fresco, se llevó a estufa a 65°C hasta peso constante, se obtuvo el peso seco y se calculó la producción de MS en (kg.ha⁻¹). Se determinó la concentración de carbono (%C), con analizador de carbono por combustión seca (LECO-TRUSPEC). Con una alícuota de la MS se determinó la concentración de C. Durante el ciclo del cultivo se registraron las sucesivas etapas fenológicas de la soja, aplicando la escala de Fehr y Caviness (1977).

Las precipitaciones durante el ciclo de cultivo fueron de 391 mm. Mediante cosechadora automotriz se obtuvo el rendimiento del cultivo de soja (kg.ha⁻¹) y se llevó a humedad comercial del grano (13,5%). Se evaluó el P1000 (g) (n=6) y se calculó el número de granos por metro cuadrado.

Los análisis estadísticos se realizaron mediante análisis de variancia testeando particularmente los efectos de ambientes, tratamientos y su interacción. Se realizaron los test de comparaciones de medias, de acuerdo a la significación de los efectos en los análisis de variancia, utilizando el test LSD de Fisher, a un nivel de significación del 5%. Para el análisis de observaciones en distintos momentos, se creó la variable clasificatoria o efecto TA, constituido por las 6 combinaciones de ambientes y tratamientos, considerando también el efecto fecha y la interacción TAxfecha.



F1 Figura 1. Precipitaciones medias en milímetros del período 1957/2012 y del período enero 2012/abril 2013.



Resultados y discusión

Efecto en MS y C de biomasa de CC y soja: la producción de MS aérea de los CC y su contenido de C (Tabla 2), no mostraron efecto significativo del ambiente, a pesar de que Bajo tuvo una cantidad de biomasa hasta 22 % superior a los otros ambientes. Ambas variables presentaron igual tendencia de incremento, desde Loma hacia Bajo.

En soja 1 en R6, la MS y el C de hojas y tallos, y de vainas con granos en soja 2, hubo efecto del tratamiento altamente significativo (Tabla 2). En ningún caso se halló interacción de ambiente por tratamiento. Con incrementos de 20 % y 21 % respectivamente, la MS y el C de Soja 1 en las parcelas CCC, superaron a los registrados en las parcelas SCC. En soja 2, ese aumento fue del 18 % para ambas variables.

Al considerar la MS aérea total producida por los CC y por el cultivo de soja, las parcelas CCC tuvieron incrementos del 82 % en Loma y Media Loma y del 114 % en Bajo, respecto de las parcelas SCC. Similares tendencias mostraron los contenidos de C totales de la MS de los CC y la soja implantada a continuación, siendo 78, 79 y 106 % superiores en Loma, Media Loma y Bajo en las parcelas CCC, respecto de las parcelas SCC.

Las diferencias entre ambientes de la producción de MS de los CC, si bien no fueron significativas, estuvieron posiblemente asociadas a un mayor uso consuntivo y a una más alta eficiencia en el uso del agua en el ambiente Bajo. En cuanto a la soja sembrada a continuación, las diferencias positivas en MS y C del cultivo implantado sobre las parcelas CCC, respecto de la soja sobre las parcelas SCC, pudieron originarse en su mayor reserva de agua útil durante las etapas críticas del cultivo -datos presentados más adelante-, así como en los mayores contenidos de algunos nutrientes del suelo (datos no mostrados).

Al contrastar los totales de MS y C de las parcelas SCC con las parcelas CCC, se destaca el efecto de estos en los distintos ambientes productivos, ya que el tratamiento con cobertura vegetal tuvo en promedio para todos los ambientes, 93 % más de MS y 88 % más de C que el tratamiento sin cubierta vegetal.

En este sentido, Duval *et al.* (2015) comprobaron que los aportes de carbono variaban significativamente al comparar buenas y malas prácticas agrícolas. Así determinaron que el monocultivo de soja sólo aportó 54 % del carbono por hectárea y por año, respecto del que aportaron las prácticas agrícolas que utilizaron cultivos de cobertura, rotación de cultivos y fertilización. Igualmente, Caviglia *et al.* (2013) en base a una serie de experiencias con CC realizadas

T2 Tabla 2. Producción de materia seca aérea y contenido de carbono de cultivos de cobertura luego del secado y de soja en madurez fisiológica

Ambiente	Tratamiento	MS (Mg.ha ⁻¹)			Carbono (Mg.ha ⁻¹)		
		CC	Soja1	Soja 2	CC	Soja 1	Soja2
Loma	SCC	-	3,238 bc	5,086 bc	-	1,336 bc	2,200 b
	CCC	5,517 a	4,061 a	5,645 a	2,156 a	1,686 a	2,462 a
Media Loma	SCC	-	3,667 abc	4,717 cd	-	1,526 abc	2,060 bc
	CCC	5,602 a	4,116 ab	5,575 ab	2,226 a	1,717 a	2,478 a
Bajo	SCC	-	3,004 c	4,508 d	-	1,257 c	1,958 c
	CCC	6,734 a	3,722 ab	5,600 a	2,634 a	1,561 ab	2,412 a
Medias Tratamientos	SCC	-	3,303 b	4,770 b	-	1,373 b	2,073 b
	CCC	5,951	3,966 a	5,607 a	2,399	1,655 a	2,451 a
Medias Ambientes	Loma	5,517 a	3,650 a	5,366 a	2,156 a	1,511 a	2,331 a
	Media Loma	5,602 a	3,892 a	5,146 a	2,226 a	1,622 a	2,269 a
	Bajo	6,734 a	3,363 a	5,054 a	2,634 a	1,409 a	2,185 a

Ref.: MS: Materia Seca; Soja 1: hojas y tallos en R6; Soja 2: vainas con granos en R6; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Para MS y C de CC: letras distintas en sentido vertical, indican diferencias significativas entre ambientes. Para MS y C de Soja 1 y Soja 2: letras distintas en sentido vertical, indican diferencias significativas entre TA ($p < 0,05$).



en el centro oeste de Entre Ríos, concluyeron que los aportes de residuos de los CC y el cultivo de renta siguiente, en todos los casos fueron mayores que los de las alternativas que permanecieron en barbecho durante el invierno.

Efecto en el almacenaje de agua útil en el suelo: con una media de 282 mm, al inicio del estudio, el Bajo tuvo una disponibilidad de agua útil significativamente superior a Loma y Media Loma, que mostraron valores de 185 y 202 mm cada uno (Figura 2). Luego de 155 días de crecimiento, en el momento de secado de la cobertura vegetal (Figura 3), las parcelas SCC y CCC tuvieron una diferencia promedio de AUD de 25 mm en el perfil del suelo, a favor de las primeras, lo que marcó el consumo de agua de los CC. En ese momento, los ambientes Bajo, Loma y Media Loma mostraron promedios de 294, 258 y 245 mm, respectivamente. La diferencia a favor del Bajo representó 14 % y 20 % más de AUD que en Loma y Media Loma, respectivamente. En el momento de la implantación del cultivo de soja (Figura 4), luego de 28 días de barbecho, las parcelas SCC y CCC no tuvieron diferencias significativas en el AUD, lo que implicó una mayor capacidad de recarga del agua de las lluvias, en las parcelas CCC respecto de las parcelas SCC. El AUD fue de 298, 274 y 260 mm para Bajo, Loma y Media Loma, favorable significativamente al primero. Todas las parcelas en estudio mostraron reservas superiores al 85 % del agua útil máxima (AUM).

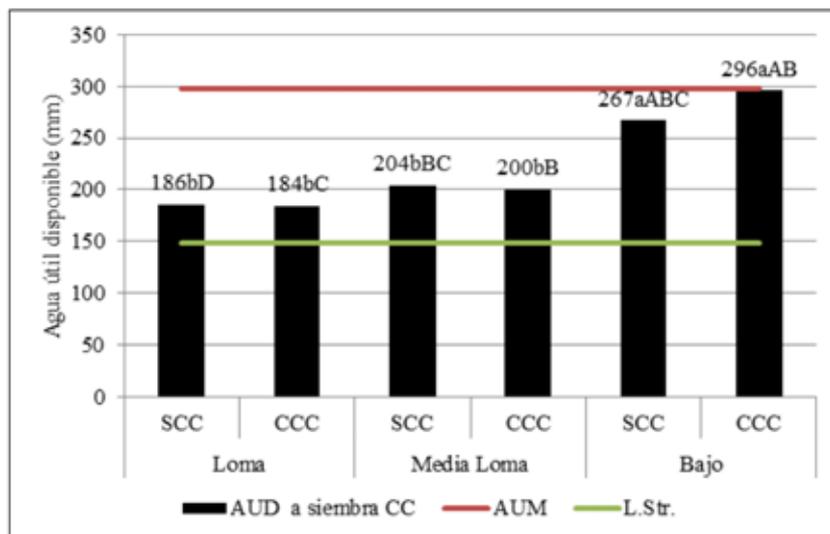
En floración de soja (Figura 5), SCC y CCC no presentaron diferencias significativas en el AUD. Las medias obtenidas fueron de 295, 256 y 244 mm en Bajo, Loma y Media Loma, respectivamente. Si bien no se halló efecto del tratamiento, las parcelas CCC presentaron reservas de AUD superiores a las SCC en todos los ambientes, con un máximo de 20 mm más en Media Loma. En R5 de la soja (Figura 6) todas las parcelas disminuyeron significativamente sus niveles de AUD -a excepción del Bajo CCC- respecto del momento de floración del cultivo de soja. Las parcelas CCC mostraron mayores reservas de AUD que las parcelas SCC, con 22 mm más de agua en el perfil evaluado, en promedio para los tres ambientes. Los resultados hallados indican que, luego del secado de los CC, las parcelas CCC mostraron una importante mejora en la capacidad de almacenar el agua de las precipitaciones, respecto de las parcelas SCC. Esto se evidenció a través de la recuperación de las reservas de agua consumidas por los CC du-

rante el barbecho previo a la siembra de la soja, y de niveles de AU más elevados en R1 y R5 de del cultivo de soja.

Ernst (2004) obtuvo una respuesta similar a la de este estudio, cuando las lluvias ocurridas durante el barbecho previo a la siembra de un cultivo de verano igualaron las reservas de agua de los tratamientos con y sin cubierta vegetal. Si bien en años de baja oferta hídrica, Carfagno *et al.* (2013b) observaron una tendencia hacia la conservación del agua en el suelo, luego de terminado el ciclo de los CC, y similar AU de éstos respecto al testigo sin CC. No obstante, Restovich y Andriulo (2013) analizaron las probables diferencias climáticas entre campañas y concluyeron que, considerando un escenario de lluvias primaverales por debajo del promedio histórico, el consumo de los CC registrado en los horizontes superficiales, podría afectar la producción del cultivo siguiente.

Efecto en el rendimiento del cultivo de soja: los rendimientos de soja (Figura 7) sobre el CC mostraron un efecto altamente significativo del tratamiento, así como un efecto del ambiente e interacción ambiente por tratamiento. Los rindes del cultivo presentaron incrementos significativos en Media Loma CCC y Bajo CCC, con valores 19 y 10 % mayores a Media Loma SCC y Bajo SCC, respectivamente. En Loma CCC, también hubo mayores rendimientos, pero no llegaron a ser significativos, respecto de los obtenidos en Loma SCC.

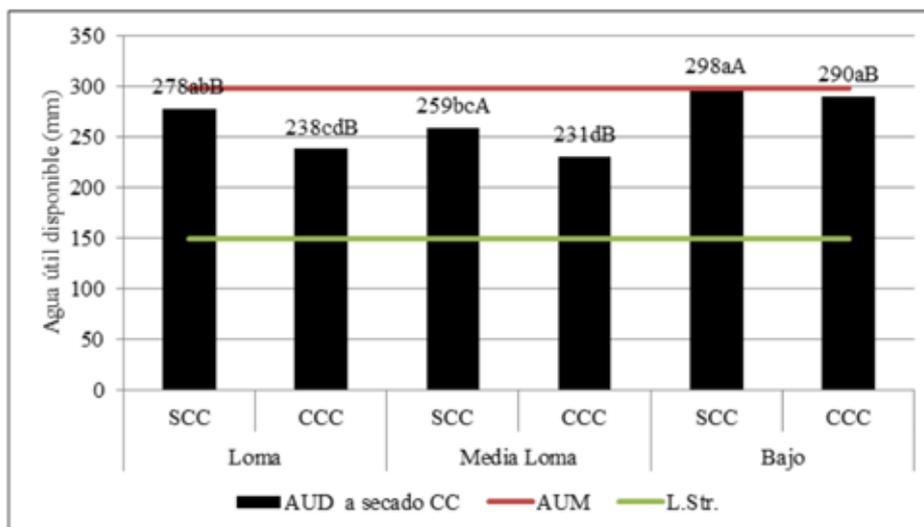
En cuanto al peso de mil granos (Tabla 3), el análisis de sus resultados mostró efectos altamente significativos de ambiente y tratamiento, sin interacción entre ambos. Las parcelas CCC tuvieron un P_{1000} promedio de 171 g, significativamente superior al P_{1000} de 167 g obtenido en las parcelas SCC. Por su parte, los ambientes Loma, Bajo y Media Loma presentaron P_{1000} medios de 175, 168 y 163 g respectivamente, todos con diferencias significativas entre sí. El análisis del número de granos por metro cuadrado (Tabla 3), detectó un efecto altamente significativo del tratamiento y una interacción altamente significativa entre ambientes y tratamientos. La Media Loma CCC tuvo valores de NG significativamente superiores a Media Loma SCC. Por otra parte, Loma CCC y Bajo CCC también mostraron valores superiores a Loma SCC y Bajo SCC, pero en este caso las diferencias no fueron significativas.



Ref.: AUD: Agua Útil Disponible; AUM: Capacidad Máxima de Agua Útil del Suelo; L.Str.: 50% del Agua Útil Máxima; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas entre barras indican diferencias significativas en cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas entre gráficos para cada TA, indican diferencias significativas entre fechas (test $F p < 0,05$).

F2

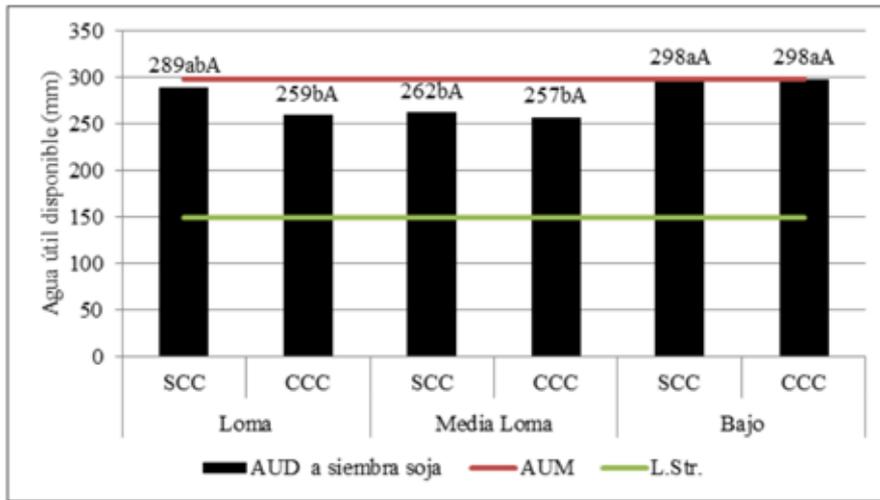
Figura 2. Lámina de agua útil disponible en milímetros, acumulada hasta 200 centímetros de profundidad a siembra de los cultivos de cobertura.



Ref.: AUD: Agua Útil Disponible; AUM: Capacidad Máxima de Agua Útil del Suelo; L.Str.: 50% del Agua Útil Máxima; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas entre barras indican diferencias significativas en cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas entre gráficos para cada TA, indican diferencias significativas entre fechas (test $F p < 0,05$).

F3

Figura 3. Lámina de agua útil disponible en milímetros, acumulada hasta 200 centímetros de profundidad a secado de los cultivos de cobertura.



Ref.: AUD: Agua Útil Disponible; AUM: Capacidad Máxima de Agua Útil del Suelo; L.Str.: 50% del Agua Útil Máxima; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas entre barras indican diferencias significativas en cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas entre gráficos para cada TA, indican diferencias significativas entre fechas (test F $p < 0,05$).

F4 Figura 4. Lámina de agua útil disponible en milímetros, acumulada hasta 200 centímetros de profundidad a siembra del cultivo de soja.

T3 Tabla 3. Peso de mil granos en gramos y número de granos por metro cuadrado del cultivo de soja

Ambiente	Tratamiento	P ₁₀₀₀ g	NG granos.m ²
Loma	SCC	173 b	2598 ab
	CCC	178 a	2600 ab
Media Loma	SCC	162 c	2308 c
	CCC	164 c	2723 a
Bajo	SCC	164 c	2231 c
	CCC	173 b	2341 bc

Ref. SCC: sin cultivos de cobertura; CCC: con cultivos de cobertura.
P1000: peso de mil granos; NG: número de granos por metro cuadrado.
Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

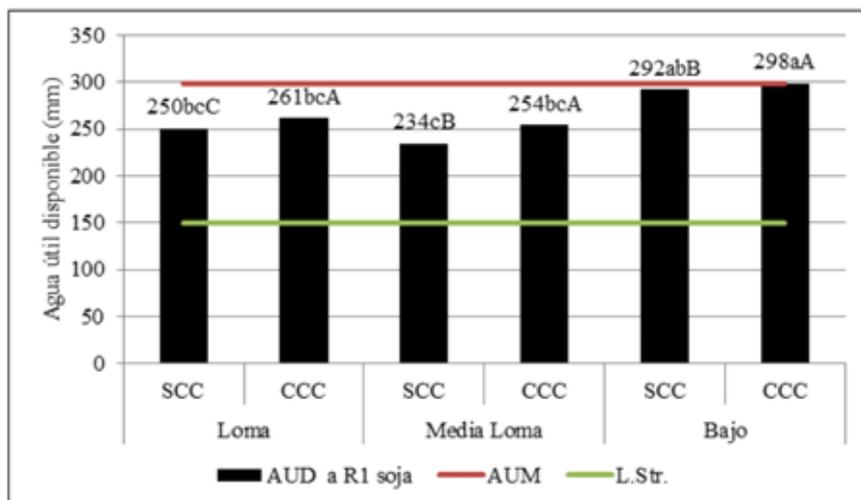
En las parcelas CCC, los incrementos de rendimiento de soja se explican por el aumento del P₁₀₀₀ y del NG del cultivo. Es probable que la mejora en el almacenaje de agua en ellas haya incidido en la definición de estos componentes del rendimiento. El menor nivel de AUD en las parcelas SCC, pudo afectar una mayor fijación de granos. En las parcelas CCC, la mayor cantidad de AUD, posiblemente favoreció la producción de soja en una etapa considerada crítica para la determinación del rendimiento del cultivo.

Posiblemente, la respuesta positiva en rendimiento de soja a los CC en todos los ambientes evaluados haya sido consecuencia del aumento del almacenaje de agua útil y de algunas propiedades del suelo -no

presentadas en este trabajo- lo que Ruffo y Parsons (2004) citados por Vanzolini *et al.* (2013) llaman "efecto rotación" y que posibilita el incremento de las diferencias entre tratamientos, ante aumentos de la fertilidad del suelo.

Rimski-Korsakov *et al.* (2015) evaluaron un gran conjunto de experiencias con CC, separando soja de maíz, en ambientes húmedos y semiáridos. Estos autores encontraron que ninguno de estos cultivos ve afectado significativamente su rendimiento en zonas húmedas por la inclusión de un CC como antecesor. Tampoco la soja en zonas semiáridas muestra diferencias significativas, pero sí el maíz presenta en esta región rendimientos superiores por la inclusión de una leguminosa como CC antecesor. Por su parte, Restovich y Andriulo (2013) no encontraron diferencias en rendimiento de soja entre tratamientos con y sin CC en el año más húmedo y sí en el año más seco, lo que según estos autores estuvo posiblemente asociado al consumo de agua de estos antecesores y a la falta de precipitaciones que no recargaron el perfil del suelo.

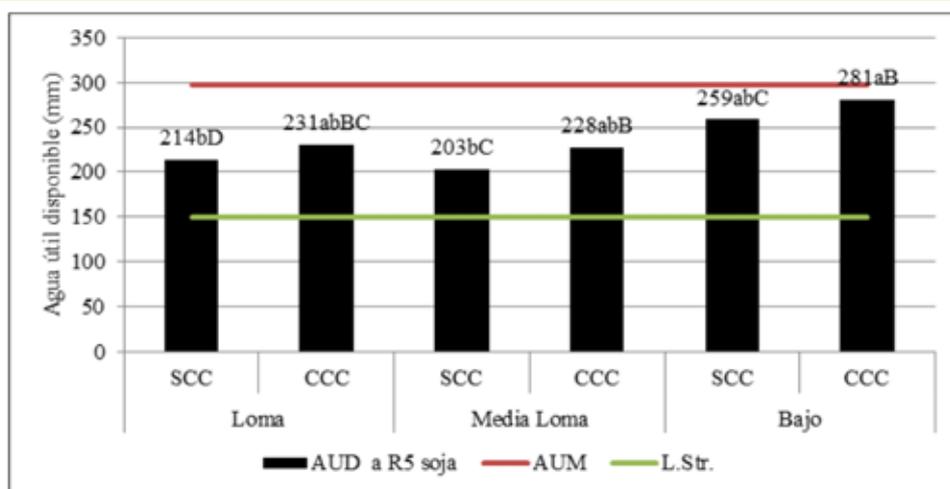
La reserva de agua en la secuencia agrícola con la inclusión de un CC sigue siendo objeto de trabajos experimentales debido a las múltiples combinaciones entre factores naturales (precipitaciones, radiación, pendientes, tipos y estado de deterioro de suelos) y productivos (rotaciones, especies, densidades de siembra, forma, tipo y oportunidad de supresión de



Ref.: AUD: Agua Útil Disponible; AUM: Capacidad Máxima de Agua Útil del Suelo; L.Str.: 50% del Agua Útil Máxima; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas entre barras indican diferencias significativas en cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas entre gráficos para cada TA, indican diferencias significativas entre fechas (test $F p < 0,05$).

F5

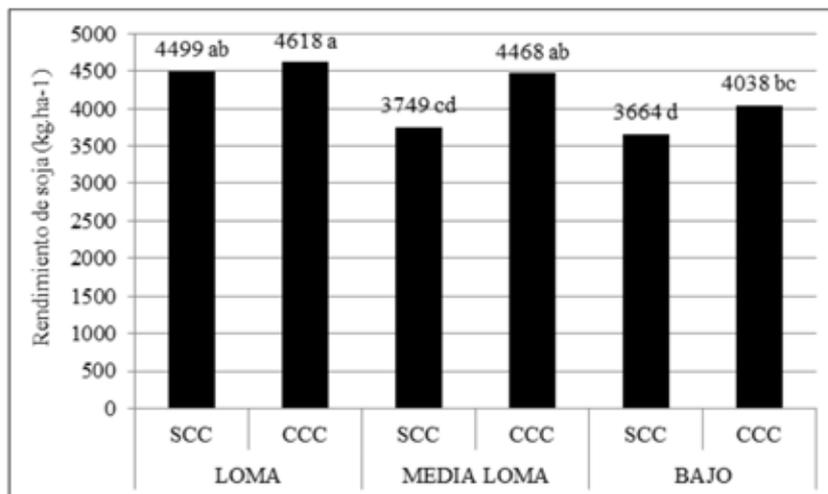
Figura 5. Lámina de agua útil disponible en milímetros, acumulada hasta 200 centímetros de profundidad a floración del cultivo de soja.



Ref.: AUD: Agua Útil Disponible; AUM: Capacidad Máxima de Agua Útil del Suelo; L.Str.: 50% de Agua Útil Máxima; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas entre barras indican diferencias significativas en cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas entre gráficos para cada TA, indican diferencias significativas entre fechas (test $F p < 0,05$).

F6

Figura 6. Lámina de agua útil disponible en milímetros, acumulada hasta 200 centímetros de profundidad, a inicio de llenado de granos del cultivo de soja.



Ref.: SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas, indican diferencias significativas (test $F p < 0,05$).

E7 Figura 7. Rendimientos de soja en kilos por hectárea.

crecimiento) que muestran una gran diversidad de resultados en la región pampeana argentina.

Conclusiones

En el momento de secado de la cubierta vegetal, las parcelas CCC tuvieron menos AUD, pero durante el período de barbecho las precipitaciones recompusieron las reservas del suelo y a la siembra de soja las diferencias entre parcelas CCC y SCC se redujeron sustancialmente.

Durante el crecimiento de la soja, las parcelas CCC tuvieron una mayor capacidad de captación de las precipitaciones y en floración y llenado de granos del cultivo mostraron mayores niveles de AUD que las parcelas SCC.

Las situaciones con CC tuvieron una elevada producción de MS aérea total en la secuencia CC-soja y ello influyó de igual modo y tendencia sobre los contenidos de carbono respecto a aquellas que no tuvieron CC. La soja tuvo rendimientos significativamente superiores en las parcelas CCC en los ambientes Media Loma y Bajo, a través de un mayor NG y/o un P_{1000} superior.

Los CC optimizan la captura y retención del agua de precipitaciones en ambientes con diferentes pendientes, aumentan el carbono y mejoran la productividad de la soja.

Bibliografía

Carfagno, P.F., Eiza, M.J., Quiroga, A., Babinec, F., Chagas, C. y Michelena, R. 2013a. Agua disponible en monocultivo de soja con cultivos de cobertura y barbechos reducidos en la región semiárida y subhúmeda Pampeana. *Ciencia del Suelo*, 31 (1), 67-81.

Carfagno, P., Eiza, M., Babinec, F. y Quiroga, A. 2013b. Inclusión de cultivos de cobertura en la dinámica hídrica de Hapludoles y Haplustoles del oeste de la provincia de Buenos Aires y noreste de La Pampa. *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción*. Ediciones INTA, 11: 83-87.

Caviglia, O. P., Sadras, V.O. y Andrade, F.H. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern pampas I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double cropped wheat-soybean. *Field Crops Research*, 87:117-129.

Caviglia, O.P.; Novelli, L.; Gregorutti V.C.; Van Opstal N.V. Y R.J.Melchiori. 2013. Cultivos de cobertura invernales: una alternativa de intensificación sustentable en el centro-oeste de Entre Ríos. *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción*. Cap.18: 148-157. Ediciones INTA. ISBN 978-987-679-177-9.

Dechen S.C.F., De Maria, I.C., Castro, O.M. y Vieira, S.R. 2004. Manejo de solos tropicais no Brasil. *Reuniao Brasileira de Manejo e Conservação do Solo*, Santa Maria. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 2:1-28.

Duval M.; Martinez J.M.; Iglesias, J.; Galantini, J.A. & L. Wall. 2015. Secuencia de cultivos y su efecto sobre las fracciones orgánicas del suelo. *El Impacto de los Sistemas actuales de cultivo sobre las Propiedades Químicas del Suelo y sus efectos sobre los Balances de Carbono*. Pg.51-55. INTA Ediciones. Colección INVESTIGACIÓN,



DESARROLLO E INNOVACIÓN. 1ª ed. Coronel Suárez, Buenos Aires. ISBN 978-987-521-624-2

Duval, M.E., Galantini, J.A., Martínez, J.M., López, F.M. 2016. Utilización de dos prácticas agrícolas contrastantes: efectos temporales sobre las propiedades edáficas. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. "Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo". Río Cuarto, Córdoba, 79-85.

Ernst, O. 2004. Leguminosas como cultivo de cobertura. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. IPNI Nº 21.

Fehr, W.R. & C.E. Caviness. 1977. Stages of soybean development. Iowa St. Univ. Special Report 80. 11p.

INTA. 1988. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3360-13 y 14. Cañada de Gómez y Rosario.

Lal, R.; Blum, W.H.; Valentine, C. y Stewart, B.A. 1998. Methods for assessment of soil degradation. En: *Advances in Soil Science*, Lewis Publishers, Boca Raton, p. 558.

Lu, Y.C., Watkins, K.B. y Abdul-Baki, A.A. 2000. Cover crop in sustainable food production. *Food Reviews International*, 16: 121-157.

Quiroga, A.R., Funaro, D.O., Fernández, R. y Noellemyer, E. J. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana. *Ciencia del Suelo*, 23 (1), 79-86.

Restovich, S. y Andriulo, A. 2013. Cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: biomasa aérea, captura de nitrógeno, consumo de agua y efecto sobre el rendimiento en grano. *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción*. Ediciones INTA, 5: 29-35.

Rimski-Korsakov, H., Alvarez, C.R. y Lavado, R.S. 2015. Cover crops in the agricultural systems of the Argentine Pampas. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70 (6), 134-140.

Ruffo, M.L. y Parsons, A.T. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, IPNI Nº 21.

Vanzolini, J.I.; Galantini, J. Y R. Agamennoni. 2013. Cultivos de cobertura de *Vicia villosa* Roth. en el valle bonaerense del Río Colorado. *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción*. Cap.4: 21-28. Ediciones INTA. ISBN 978-987-679-177-9