

Producción y calidad de diferentes cultivos de cobertura en monocultivo de soja

Production and quality of different cover crops in soybean monoculture

DUVAL, M.E.¹; GALANTINI, J.A.²; CAPURRO, J.E.³; BELTRAN, M. J.⁴

¹Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS), Dpto. Agronomía, UNS-CONICET, Bahía Blanca, Argentina

²Comisión de Investigaciones Científicas (CIC), CERZOS-UNS, Bahía Blanca, Argentina

³AER INTA Cañada de Gómez, Argentina

⁴Instituto de Suelos, INTA Castelar

mduval@criba.edu.ar

Resumen

Los cultivos de cobertura (CC) son una alternativa para mejorar la materia orgánica del suelo, capturar nutrientes lábiles minimizando su lixiviación durante largos períodos de barbecho, típicos de sistemas agrícolas con alta participación de soja (*Glycine max* L. Merr.). El objetivo del trabajo fue evaluar durante dos años (2009 y 2010) la producción y composición nutricional de diferentes CC en un sistema simplificado (monocultivo soja) bajo siembra directa. Los CC utilizados fueron: (T) trigo pan (*Triticum aestivum* L.), (A) avena (*Avena sativa* L.), (V) Vicia (*Vicia sativa* L.) y (A+V) avena+vicia. Al momento del secado de los CC se determinó: producción de materia seca (MS), composición bioquímica (celulosa, hemicelulosa y lignina), macro y micro nutrientes. La producción de MS en T y A osciló entre 7,2 y 11,1 Mg ha⁻¹, diferenciándose significativamente de V con valores entre 4,1 y 4,6 Mg ha⁻¹. La concentración de C no presentó diferencias entre CC (43-45% C). La cantidad de N acumulado en la biomasa aérea varió entre 102 y 212 kg N ha⁻¹, destacando los mayores aportes en V, presentando diferencias únicamente entre años. La concentración de polímeros estructurales diferenció claramente entre especies de CC, donde T y A presentaron mayores concentraciones de celulosa y hemicelulosa con respecto a V. Inversamente, V presentó mayores concentraciones de carbohidratos no estructurales y lignina que las gramíneas. Las gramíneas de invierno como CC fueron más eficientes en producir MS y por consiguiente más eficaces para contribuir al potencial aumento de la materia orgánica del suelo, favoreciendo el reciclado de macro y micronutrientes, evitando el lixiviado de aquellos más lábiles.

Palabras clave: trigo-avena-vicia-composición bioquímica

Introducción

En las dos últimas décadas, el sistema de producción agrícola de la Región Pampeana Argentina ha experimentado importantes cambios, donde existen grandes extensiones de suelos bajo siembra directa (SD) con predominio de soja (*Glycine max* L. Merr.). Este cultivo se ha transformado en el principal de la región, con una superficie implantada de aproximadamente 20 millones de hectáreas (SIIA, 2016) desplazando al maíz de las rotaciones con el consiguiente balance negativo de carbono, aún bajo SD (Duval *et al.*, 2016). En la región centro sur de Santa Fe, el cultivo se incrementó de 43% a 74% del total agrícola, en el período comprendido entre 1979-2008, predominando el monocultivo (SAGPyA, 2009).

Estos sistemas agrícolas se caracterizan por la presencia de escasa o nula cobertura y un fuerte agotamiento de nutrientes como consecuencia de la prolongada historia agrícola sin reposición por fertilización (Miretti *et al.*, 2012). Este problema se

Summary

Cover crops (CC) are an alternative to improve soil organic matter and to capture labile nutrients by minimizing their loss by leaching during the long-term fallows typical of agricultural systems with high frequency soybean (*Glycine max* L. Merr.). The objective of this work was to evaluate the production and nutrient content of different CC in a simplified system (soybean monoculture) under no-tillage for two years (2009-2010). The CC used were: (T) bread wheat (*Triticum aestivum* L.), (A) oat (*Avena sativa* L.), (V) vetch (*Vicia sativa* L.), and (A+V) oat + vetch. Upon drying the CC we determined: production of total aerial dry matter (MS), biochemical composition (cellulose, hemicellulose and lignin), and macro- and micronutrients. Dry matter production in T and A ranged from 7.2 to 11.1 Mg ha⁻¹, differing significantly from V which reached values between 4.1 and 4.6 Mg ha⁻¹. Carbon concentration did not differ among CC (43-45% C). The amount of N accumulated in aboveground biomass ranged from 102 to 212 kg N ha⁻¹, with the highest inputs recorded in V, which showed differences only between years. The concentration of structural polymers clearly differed between CC species, with T and A showing higher concentrations of cellulose and hemicellulose than V. Conversely, V showed higher concentrations of nonstructural carbohydrates and lignin than grasses. Winter grasses as CC were more efficient in producing MS and therefore more effective to contribute to potential increased soil organic matter, promoting the recycling of macro- and micronutrients, and preventing the leaching of the most labile ones.

Key words: wheat-oat-vetch- biochemical composition

agrava con el uso de cultivos de alto rendimiento, que demandan mayor cantidad de nutrientes. En el caso especial del cultivo de soja, presenta requerimientos nutricionales por kilogramo de grano producido e índices de cosecha de nutrientes mayores que los cereales. Por ejemplo, la soja exporta 80-85% del fósforo (P) y 55-60% del potasio (K) absorbidos, en cuanto a los nutrientes secundarios, la soja presenta requerimientos de azufre (S) superiores a los de trigo y maíz, y para una eficiente fijación biológica de nitrógeno (N) requiere de micronutrientes tales como molibdeno (Mo), cobalto (Co), níquel (Ni), boro (B), hierro (Fe) y manganeso (Mn) (Baigorri, 1999). Por lo tanto, en situaciones de monocultivo de soja, la extracción de nutrientes es significativamente superior a la de otros cultivos como trigo o maíz. Otro aspecto a considerar es la escasa o nula reposición de nutrientes en los lotes destinados al cultivo de soja donde, a diferencia de otros cultivos, gran parte de la demanda de N (~60%) es provisto por fijación biológica (Collino *et al.*, 2015), mientras que no se

contempla la fertilización bajo el criterio de reconstrucción y mantenimiento de los demás nutrientes (Cruzate & Casas, 2012). A su vez, el menor aporte de residuos podría ocasionar balances negativos de la materia orgánica del suelo (MOS) (Mazzilli *et al.*, 2014), reduciendo el aporte de nutrientes ya que es su principal reserva (Cruzate & Casas, 2012) y, además, pueden generarse pérdidas por los procesos erosivos que desencadena la falta de cobertura.

Frente a esta situación, una alternativa para incrementar el aporte de residuos en sistemas de agricultura con alta participación de soja, es la incorporación de cultivos de cobertura (CC). Los CC son promovidos actualmente como una práctica adecuada para complementar la SD, los cuales se establecen entre dos cultivos de verano, no son incorporados como abonos verdes ni cosechados. Los CC pueden cumplir muchas funciones dentro de los sistemas agrícolas; por lo tanto, existen diferentes objetivos para incluirlos en la rotación. Entre ellos figuran la protección física del suelo a la radiación solar, viento y lluvia, control de malezas (Fernández *et al.*, 2007), mayor aporte de carbono orgánico (Álvarez, 2005), captura de nutrientes móviles (N y S) a través de su biomasa, aumento de la eficiencia del uso de agua, depresión de napas freáticas, y control de plagas y enfermedades (Quiroga *et al.*, 2009; Rimski-Korsakov *et al.*, 2015). A su vez, especies como la vicia y los tréboles que tienen la capacidad de fijar el N₂ atmosférico y reciclar el nitrógeno disponible del suelo incrementando la productividad de cultivos de verano como el maíz (Baigorria & Cazorla, 2009).

Los suelos manejados en soja continua se caracterizan por presentar entre 5 y 7 meses bajo barbecho en donde las precipitaciones ocurridas durante dicho período, en su mayoría, no son utilizadas por los cultivos de verano, debido a que el agua del suelo se

pierde por evaporación (Fernández *et al.*, 2007). Además, en suelos con alta fertilidad natural y clima húmedo-templado, períodos de barbecho prolongados son propicios para la producción de nitrato a través de la mineralización de la MOS y residuos de cultivos generando un significativo lixiviado de nitrógeno (Portela *et al.*, 2009). En el centro sur de Santa Fe, según la carta de suelos de la zona de Rosario-Cañada de Gómez (INTA, 1988), el balance hídrico mensual utilizando el método de Thornthwaite presenta saldos positivos entre precipitación y evapotranspiración potencial para los meses de Marzo a Noviembre. Es decir, existe un exceso de agua en los meses de otoño (Marzo, Abril y Mayo) que permite recargar el perfil del suelo, mientras que el excedente generado en los meses de invierno y hasta principio de Noviembre (fecha de siembra de la soja) se perdería por evaporación, percolación, escurrimiento, etc., dado que se ha alcanzado la capacidad máxima de acumulación de agua del suelo. Por lo tanto, en estas condiciones, la inclusión de CC, además de ofrecer protección física al suelo, capturan los nitratos y otros nutrientes lábiles incorporándolo a su biomasa (Boccolini *et al.*, 2010), minimizando su lixiviación durante el largo periodo de barbecho que tiene lugar entre cultivos de verano (Marzo-Octubre). En relación a la captura de nutrientes, Fernández *et al.* (2005) han determinado valores de 100 y de 40 kg ha⁻¹ de N en la biomasa aérea de centeno y rye grass, respectivamente, haciéndolo una herramienta estratégica para mitigar o controlar la lixiviación de nitrato (Constantin *et al.*, 2010). Sin embargo, es escasa la información disponible sobre la contribución de los CC al aporte potencial de otros nutrientes para el cultivo posterior.

El objetivo del trabajo fue evaluar la producción y la composición nutricional de diferentes especies invernales como cultivos de cobertura en un sistema simplificado (monocultivo de soja) bajo siembra directa.

Materiales y métodos

Sitio

El estudio se realizó en la localidad de Correa, provincia de Santa Fe (32°57'21"S, 61°18'18"O). El clima de la región es templado, sin gran amplitud térmica anual. El régimen pluviométrico tiende a ser monzónico, donde en el período de Octubre a Marzo se concentra aproximadamente el 70% de las lluvias. La precipitación y temperatura media anual es de 1019 mm y 17,5 °C, respectivamente (período 1957-2005). El suelo utilizado está clasificado como Argiudol típico, con una secuencia de horizontes A-B1-B2-C1-C2-Ck, profundo y bien drenado con textura franco limosa (arena: 102 g kg⁻¹, limo: 699 g kg⁻¹ y arcilla: 199 g kg⁻¹) en su horizonte superficial.

Tratamientos y manejo de los cultivos

El ensayo se estableció sobre un lote que presentaba una historia agrícola de cuarenta años, los últimos diez en SD, con predominio de soja (*Glycine max* L. Merr.) y barbecho invernal en la rotación. En Junio de 2006 se inició un ensayo de monocultivo de soja con diferentes CC como antecesores invernales. Los CC utilizados fueron: (T) trigo pan (*Triticum aestivum* L.), (A) avena (*Avena sativa* L.), (V) Vicia (*Vicia sativa* L.), (A+V) avena+vicia y (Ct) un tratamiento control (sin CC) con barbecho químico. Los tratamientos fueron dispuestos en un diseño en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones y parcelas de 500 m² (50 m X 10 m) en las cuales se implantaron los cinco tratamientos.

En Mayo (2009) y Julio (2010) se sembraron los CC bajo el sistema de SD con una densidad de 110, 60 y 45 kg semilla ha⁻¹ para T, A y V, respectivamente mientras que la consociación (A+V) se sembró con densidades de siembra de 30 kg semilla ha⁻¹ de ambas

especies con un distanciamiento entre surcos de 17,5 cm en todos los casos. Todos los CC fueron fertilizados al momento de la siembra con 7 kg ha⁻¹ de fósforo (P) y 8,4 kg ha⁻¹ de azufre (S) en forma de superfosfato simple (SFS, 0-20-0-12S). A las especies gramíneas (T y A), además, se fertilizó con 51 kg ha⁻¹ de nitrógeno en forma de urea (46-0-0). La supresión del crecimiento de los CC se realizó en el mes de Noviembre con glifosato con dosis de 2,5/3 L ha⁻¹. El criterio que se tuvo en cuenta para definir el momento de supresión fue que las gramíneas llegaran a floración, a fin de lograr una elevada producción de materia seca total, sin comprometer la fecha de siembra óptima del cultivo de soja.

Cultivos de cobertura: cantidad y calidad

La producción de materia seca aérea total (MS) de las distintas especies de CC se determinó al momento de secado (principios de Noviembre en ambos años). Se extrajeron 10 muestras de 0,5 m² por parcela y secados en estufa a 65° C. Posteriormente, las muestras fueron molidas (0,4 mm) para determinar carbono orgánico (g C kg⁻¹) mediante analizador automático (LECO, St. Joseph, MI). Asociado a la calidad de los CC, se determinó nitrógeno total (N) (g N kg⁻¹ MS) por el método de Kjeldahl (Bremner, 1996), y la calidad bioquímica mediante fibra en detergente neutro (Celulosa + Hemicelulosa + Lignina + otros), fibra en detergente ácido (Celulosa + Lignina + otros) y lignina en detergente ácido (Lignina + otros) por el método secuencial, con α -amilasa y sin sulfito de sodio, acorde al procedimiento descrito por Van Soest *et al.* (1991) en un baño procesador (Ankom Technology Corp., Fairpoint, NY, USA). El contenido de C y N (Mg ha⁻¹) en la biomasa aérea de los CC se determinó multiplicando el peso de MS por la concentración de C y N, respectivamente. Para

la cuantificación de micronutrientes asimilables: cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn) se realizó la extracción con DTPA (pentaacetato de dietilentriamina) pH 7,3 (Lindsay & Norvell, 1978). Las concentraciones de macro y micronutrientes se midieron con un equipo de absorción atómica Varian 2005.

Análisis de datos

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó análisis de varianza (ANOVA). Se empleó ANOVA doble para probar si la cantidad y calidad de la biomasa producida varía significativa-

mente entre los diferentes tratamientos (cultivos de cobertura) con los años de evaluación. Cuando se halló interacción tratamiento-año se particionó por año para evaluar el efecto de los tratamientos. En aquellas situaciones donde se detectaron diferencias significativas en las variables medidas, se aplicó la prueba de comparación de medias mediante diferencias mínimas significativas (DMS) utilizando un nivel de significación de 0,05. Todos los datos fueron analizados utilizando el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2013).

Resultados y discusión

Producción de materia seca y aporte de carbono de los cultivos de cobertura

La cantidad de MS producida presentó diferencias significativas entre CC ($p < 0,001$), entre años ($p < 0,001$) e interacción CC*año ($p < 0,01$) (Figura 1). En ambos años, los tratamientos T y A presentaron mayor producción de MS que A+V y V; a su vez, también se observaron diferencias significativas entre A+V y V, donde la leguminosa pura acumuló menores contenidos de MS (Figura 1). La producción de MS de las gramíneas (T y A) osciló entre 7,2 y 11,1 Mg ha⁻¹, diferenciándose significativamente de V con producciones de MS entre 4,1 y 4,6 Mg ha⁻¹. El tratamiento A+V presentó valores de MS entre 5,8 y 7,6 Mg ha⁻¹, siendo inferiores a las de gramíneas puras (Figura 1). Unger & Vigil (1998) también observaron que las gramíneas se adaptan mejor como CC que las leguminosas debido a su mayor generación de biomasa, aun en condiciones de sequía. La generación de biomasa depende en gran medida de la especie y del cultivar utilizado. En este estudio se demostró que la producción de biomasa de T y A fue superior al de V al igual los resultados obtenidos por otros autores (Neal *et al.*, 2011; Restovich *et al.*, 2012) donde las gramíneas duplicaron en producción a la leguminosa. A su vez, la vicia presenta un crecimiento lento, en etapas iniciales, y un crecimiento más rápido recién en primavera debido principalmente al aumento de temperatura (Sainju *et al.*, 1998). Este hábito de crecimiento diferente, en relación a las gramíneas, también influyó en la producción de MS.

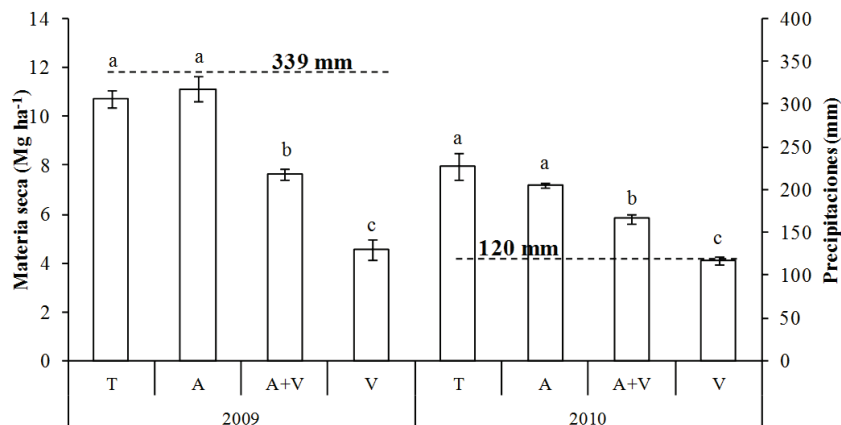
La cantidad de C capturado presentó diferencias significativas entre CC donde, al igual que en la MS, los tratamientos T y A aportaron la mayor cantidad de C al suelo, debido a una mayor acumulación de biomasa. Durante el período estudiado el C fijado por las gramíneas fue significativamente superior que en A+V y V (Tabla 1). También se observaron diferencias significativas entre A+V y V, donde la leguminosa pura presentó los

menores aportes de C en ambos años (Tabla 1). El aporte de C de los CC varió entre 1,9 y 4,9 Mg C ha⁻¹, donde las gramíneas aportaron entre 3,2 y 4,9 Mg C ha⁻¹, valores entre 1,6 y 3,8 Mg C ha⁻¹ se midieron en A+V, mientras que V presentó los menores aportes de C, entre 1,9 y 2,1 Mg C ha⁻¹. Dichas diferencias se deben principalmente a la producción de MS debido a que la concentración de C de los diferentes CC no presentó diferencias significativas (43-45% C). En este mismo ensayo, Duval *et al.* (2015) señalan que las precipitaciones entre Junio y Octubre fueron el factor principal que afectó a la producción de biomasa de los CC. En la Figura 1 se observan las precipitaciones ocurridas para los años evaluados, las cuales fueron 339 y 120 mm para los años 2009 y 2010, respectivamente. Estos registros generaron eficiencias de fijación de C diferentes entre las especies, donde las gramíneas (T y A) fijaron más C (entre 26 y 36 kg C ha⁻¹ día⁻¹) que A+V y V (entre 24 y 15 kg C ha⁻¹ día⁻¹). A su vez, las gramíneas puras fueron más eficientes en capturar C en condiciones más favorables, como las del 2009. Esta mayor plasticidad de las gramíneas en producir biomasa y capturar C bajo diferentes disponibilidades hídricas puede ser la causa de las interacciones CC*año halladas. Estos aportes diferenciales de biomasa por parte de los CC se traducen en cambios en los contenidos de MOS. Al respecto, Duval *et al.* (2016) informaron aumentos en los contenidos superficiales (0-20 cm) de carbono orgánico luego de seis años de aportes por los CC, principalmente gramíneas (trigo), considerándose una alternativa de manejo válida para generar cobertura y mejorar el balance de carbono.

Calidad del residuo de los cultivos de cobertura

La cantidad de N acumulado en la biomasa aérea de los CC varió entre 102 y 212 kg N ha⁻¹, donde las principales diferencias se observaron entre años (Tabla 1). Diferencias entre CC únicamente se observaron en el 2009, donde V presentó mayor cantidad de N acumulado (212 kg N ha⁻¹) que el resto de los CC. Estos

Figura 1: Producción de materia seca de los cultivos de cobertura y precipitaciones en el ciclo. En cada año letras diferentes indican diferencias significativas entre CC ($p < 0,05$).



resultados afirman lo observado por Restovich *et al.* (2012), donde la acumulación de N al momento de suprimir los CC presentó diferencias entre gramíneas y leguminosas, encontrándose mayores cantidades en estas últimas. En este estudio, si bien se observaron diferencias en la concentración de N en el tejido vegetal entre CC ($T=A \leq A+V < V$) (datos no mostrados), la mayor cantidad de biomasa producida por las gramíneas igualaron los contenidos de N aportado por los residuos en el 2010.

La relación C:N, relacionada con la tasa de descomposición de los residuos de los cultivos (Heal *et al.*, 1997), permitió discriminar entre especies de CC, al igual que lo observado en otros trabajos (Restovich *et al.*, 2012). En este estudio la relación C:N presentó el siguiente orden: $A \geq T > A+V > V$. Los tratamientos A+V y V presentaron relaciones C:N menores que 30:1, indicando que probablemente ocurra mineralización neta de residuos (Clark *et al.*, 1997). La concentración de polímeros estructurales, tales como lignina y celulosa, también permitió diferenciar

Tabla 1: Contenidos de carbono (C), Nitrógeno (N) y la calidad bioquímica de la biomasa vegetal, aportada por los diferentes cultivos de cobertura en el 2009 y 2010 en un Argiudol (Cañada de Gómez, Santa Fe).

Año	Trigo	Avena	Avena+Vicia	Vicia
C (Mg ha ⁻¹)				
2009	4,65 a	4,92 a	3,37 b	2,06 c
2010	3,45 a	3,19 a	2,57 b	1,87 c
Promedio	4,05	4,06	2,97	1,96
C (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹)				
2009	34 a	36 a	24 b	15 c
2010	29 c	26 c	21 b	15 c
Promedio	31	31	23	15
N (kg ha ⁻¹)				
2009	119 b	102 b	126 b	212 a
2010	121 a	112 a	121 a	129 a
Promedio	120	107	123	171
C:N				
2009	39 b	49 a	28 c	10 d
2010	29 a	29 a	22 b	14 c
Promedio	34	39	25	12
Celulosa (g kg ⁻¹)				
2009	312 a	297 a	300 a	220 b
2010	329 a	290 b	286 b	279 b
Promedio	320	294	293	249
Hemicelulosa (g kg ⁻¹)				
2009	317 a	319 a	235 b	201 b
2010	326 a	316 a	276 b	163 c
Promedio	321	318	256	182
Lignina (g kg ⁻¹)				
2009	42 b	28 c	43 b	60 a
2010	54 b	55 b	53 b	68 a
Promedio	48	42	48	64
Carbohidratos no estructurales (g kg ⁻¹)				
2009	329	356	422	519
2010	292	338	384	490
Promedio	311 d	347 c	403 b	504 a
Lignina:N				
2009	3,82	3,13	2,67	1,34
2010	3,56	3,59	2,62	2,17
Promedio	3,69 a	3,36 a	2,65 b	1,76 c

Para cada variable, letras distintas en cada fila indican diferencias significativas entre tratamientos (p < 0,05).

claramente entre especies de CC, donde T y A presentaron mayores concentraciones de celulosa y hemicelulosa con respecto a V. Estos parámetros son esenciales para promover la generación de macroagregados. Las gramíneas como CC pueden ser más efectivas para aumentar la agregación de suelos y los contenidos de carbono tanto en los agregados como en el suelo entero (Sainju *et al.*, 2003). Inversamente, V presentó mayores concentraciones de carbohidratos no estructurales y lignina que las gramíneas (Tabla 1).

La diferente calidad de los residuos de vicia se refleja en la mayor proporción de carbohidratos no estructurales y menor relación C:N y lignina:N (Tabla 1). La relación lignina:N es uno de los factores más importantes que determinan la tasa de descomposición de los residuos (Kachaka *et al.*, 1993). En base a estos parámetros, se desprende que la V como CC sería una opción menos viable para mejorar la cobertura y balance de C de los suelos donde predomina la soja como cultivo principal, ya que sus residuos se descomponen rápidamente por acción de los microorganismos edáficos. Entre el 40 y 50% de sus residuos puede ser degradada después de 30 días de ser incorporados (de Sá Pereira *et al.*, 2012). La mezcla de residuos de diferentes especies presenta características químicas intermedias que las especies individuales (Scherer-Lorenzen, 2008). Este efecto se ha observado en la consociación A+V, donde la mayoría de las características químicas evaluadas (C:N, Lignina:N, hemicelulosa) presentó valores intermedios entre ambas especies (Tabla 1).

Captura de nutrientes por los cultivos de cobertura

Los sistemas de producción que se basan en un cultivo por año generan tiempos de barbecho excesivamente largos, en los que se aumenta la probabilidad de tener pérdidas de suelo y nutrientes por erosión. La utilización de cultivos CC durante este período, normalmente improductivo, permite mantener el suelo cubierto, reciclar nutrientes y produce un nuevo ingreso de residuos al sistema. Los elevados aportes de biomasa por los CC, T=9,3 Mg ha⁻¹ ($\pm 1,7$ Mg ha⁻¹), A=9,2 Mg ha⁻¹ ($\pm 2,2$ Mg ha⁻¹), A+V=6,7 Mg ha⁻¹ ($\pm 1,1$ Mg ha⁻¹) y V=4,4 Mg ha⁻¹ ($\pm 0,5$ Mg ha⁻¹) lograron mejorar la cobertura superficial del suelo y el balance de carbono, aportando además otros nutrientes (Tabla 2), los cuales son capturados por la planta y liberados en formas orgánicas (rápida liberación) dependiendo especialmente del estado fenológico en el cual sea cortado su ciclo y de la elección de la

Tabla 2: Concentración de nutrientes en la biomasa aérea de diferentes especies utilizadas como cultivos de coberturas.

Nutrientes	Cultivos de cobertura			
	Trigo	Avena	Avena+Vicia	Vicia
	mg kg ⁻¹			
P	3382 b	3629 b	4466 a	4697 a
S	778	735	888	1237
Ca	2228 c	1856 c	5605 b	10810 a
Mg	930	1393	2058	3193
K	11853 c	25163 b	27616 ab	30433 a
Fe	150	140	186	394
Cu	8	8	10	15
Mn	75 b	108 a	112 a	105 a
Zn	34	30	40	60

Para cada nutriente letras diferentes indican diferencias significativas entre CC ($p < 0,05$) cuando interacción CC*año es no significativa ($p > 0,05$).

especie (Scianca *et al.*, 2007). A su vez, la absorción de nutrientes cuando el CC se encuentra en desarrollo disminuye la pérdida por lixiviación de los nutrientes móviles (Salmerón *et al.*, 2011).

En la Tabla 2 se presentan las concentraciones de macro y micronutrientes en los diferentes CC durante el 2009 y 2010. El aporte potencial de P por parte de las gramíneas (puras o consociadas) fue entre 26 y 30 kg ha⁻¹, mientras que V presentó menores aportes (Tabla 3). Este efecto se debe principalmente a la mayor producción de biomasa por parte de las gramíneas, a pesar que la concentración de este elemento fue mayor en V y A+V (Tabla 2). Los contenidos de S acumulados en la biomasa de los CC no presentaron grandes diferencias, presentando valores entre 5 y 7 kg ha⁻¹. El ciclo del S en el sistema suelo-planta se asemeja en numerosos aspectos al del N. De esta manera los CC impiden la pérdida de los nutrientes móviles del suelo almacenándolos en formas orgánicas en su biomasa. Las mayores cantidades de nutrientes almacenada en los CC se observaron para el K y el Ca (Tabla 3). Las cantidades de K extraído por T (91 kg ha⁻¹) fueron inferiores a las extraídas por los otros CC, coincidente con las concentraciones significativamente menores determinadas en su biomasa (Tabla 2). Estos resultados pueden explicarse si se considera que cada planta tiene sus propios requerimientos de K, pudiendo desarrollar mecanismos adecuados para solubilizar y absorber el K del suelo. Al igual que el K, se hallaron diferencias significativas en la concentración de Ca entre CC presentando el siguiente orden V>A+V>T=A (Tabla 2). En este caso, el aporte potencial de Ca por los CC fue entre 15 y 40 kg ha⁻¹. La concentración de Mg presentó efectos diferenciales del año según la especie evaluada (interacción significativa), sin embargo también se hallaron concentraciones más elevadas en la leguminosa (V) para ambos años evaluados. Los aportes potenciales de este elemento por los CC fueron entre 8 y 13 kg ha⁻¹ (Tabla 3). Si bien la disponibilidad original de K, Ca y Mg de los suelos pampeanos era elevada, la intensificación agrícola ha resultado en la disminución de los niveles de bases y del pH en algunos suelos que condicionan la disponibilidad para los cultivos (García, 2005).

Los aportes potenciales de micronutrientes por los CC, en general, fueron inferiores a 1,0 kg ha⁻¹ (Tabla 3). Los contenidos de Cu fueron menores en comparación a los demás micronutrientes; con valores similares entre CC (0,06 kg ha⁻¹). Los aportes de Mn y Zn oscilaron entre 0,41-0,85 y 0,22-0,27 kg ha⁻¹, respectivamente.

Tabla 3: Comparación entre los aportes de nutrientes por la biomasa aérea de los cultivos de cobertura y los requerimientos del cultivo de soja.

Nutrientes	Soja	Trigo	Avena	Avena + Vicia	Vicia
	Requerimiento	Aporte	Aporte	Aporte	Aporte
	kg ha ⁻¹				
P	22	26	30	27	18
S	14	6	7	6	5
Ca	51	15	15	34	40
Mg	29	8	11	13	12
K	125	91	202	164	117
Fe	0,96	1,1	1,0	1,2	1,6
Cu	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06
Mn	0,48	0,57	0,85	0,65	0,41
Zn	0,19	0,27	0,23	0,23	0,22

mente, mientras que el micronutriente con mayor acumulación en la biomasa de los CC fue el Fe con valores entre 1,0 y 1,6 kg ha⁻¹. Contenidos similares de estos micronutrientes fueron hallados en zonas tropicales sobre diferentes CC para el reciclado de nutrientes (Puertas *et al.*, 2008). La disponibilidad de micronutrientes en suelos pampeanos ha sido considerada adecuada en general (Sillanpaa, 1982), sin embargo, en los últimos años se han observado deficiencias en algunas situaciones debido a que no son frecuentes las fertilizaciones con micronutrientes. En estas condiciones, la fuente principal de micronutrientes para los cultivos es la MOS (Vázquez, 2005). Por lo tanto, la inclusión de los CC en los sistemas de cultivos puede incidir sobre la disponibilidad de micronutrientes debido a los cambios en la calidad o cantidad de MOS. Iyengar *et al.* (1981), encontraron que la concentración de Zn, estaba directamente correlacionada con los niveles de MOS. Según Shuman (1988) la concentración de Cu y Mn es afectada por los niveles de MOS debido a que el Cu genera quelatos con la MOS y a su vez su descomposición aumenta la solubilidad del Mn. En consecuencia, al afectarse los niveles de MOS se esperarían cambios en la disponibilidad de los micronutrientes anteriormente mencionados. Estos resultados reflejan

que los CC pueden realizar un significativo aporte al balance de los nutrientes, modificando algunos compartimentos del ciclo de los mismos, aumentando las reservas en formas orgánicas durante el periodo de barbecho.

La importancia del aporte potencial de nutrientes por los CC en el cultivo de soja posterior puede evaluarse a través de la contribución anual de nutrientes por la biomasa de los CC y los requerimientos del cultivo de soja (Tabla 3). El rendimiento de soja fue 4418 y 3011 kg ha⁻¹ para las campañas 2009/2010 y 2010/2011, respectivamente, no presentando diferencias significativas entre los CC (Duval *et al.*, 2016). Los requerimientos nutricionales para un rendimiento promedio de 3714 kg ha⁻¹ (promedio de ambas campañas) utilizando las planillas de cálculos publicadas por IPNI Cono Sur (García & Correndo, 2016) se detallan en la Tabla 3. De esta manera, puede apreciarse la importancia de los CC como fuente de nutrientes para el cultivo de soja, donde se estaría aportando gran parte de los macro, mesonutrientes (P=100%, S=35-50%, Ca=29-78%, Mg=28-45%, K=73-100%) y micronutrientes (Fe=100%, Cu=75%, Mn=85-100%, Zn=100%) requeridos.

Conclusión

La producción de biomasa de los CC varió considerablemente en cada año, siendo las precipitaciones, el factor principal que afectó a la producción de biomasa de los CC. En promedio, se aportaron más de 3,0 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ en aquellos tratamientos que incluían gramíneas (puras o asociadas), mientras que la vicia aportó menos de 2,0 Mg C ha⁻¹ año⁻¹. Desde el punto de vista de máximo retorno de residuos al suelo, trigo y avena fueron las

especies más eficientes dada su plasticidad en producir biomasa y capturar carbono bajo diferentes disponibilidades hídricas. Los cultivos de cobertura en base a cereales de invierno fueron más eficientes para producir MS y por consiguiente más eficaces para contribuir al potencial aumento de la materia orgánica del suelo, favoreciendo el reciclado de macro y micronutrientes, evitando el lixiviado de aquellos más lábiles.

Bibliografía

1. ALVAREZ C, BARRACO M, DÍAZ ZORITA M, SCIANCA C, PECORARI C (2005). Uso de cultivos de cobertura en rotaciones con base soja: efecto sobre algunas propiedades edáficas y rendimiento de los cultivos en un Hapludol típico del noroeste bonaerense. Boletín de divulgación técnica N° 87.
2. BAIGORRI H (1999). Requerimientos nutricionales del cultivo de soja. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilización de Soja". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 39 pág.
3. BAIGORRIA T, CAZORLA C (2009). Evaluación de especies como cultivo de cobertura en sistemas agrícolas puros en siembra directa. En Jornadas Nacionales: Sistemas Productivos Sustentables. Fósforo, Nitrógeno y Cultivos de Cobertura. Bahía Blanca, Argentina (En CD).
4. BOCCOLINI M, AIMETTA B, LORENZON C, CAZORLA C, BAIGORRIA T, CONDE B, FAGGIOLI V (2010). Resultados preliminares sobre el efecto de cultivos de cobertura y la fertilización en propiedades del suelo relacionadas al ciclo del nitrógeno. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio del 2010.
5. BREMNER JM (1996). Nitrogen - Total. In: SPARKS DL (Ed), Methods of soil analysis. Part 3 - Chemical Methods. Chapter 37. ASA, SSSA, CSSA, Madison WI, pp. 1085-1121.
6. CLARK AJ, DECKER AM, MEINSIGER JJ, MCINTOSH MS (1997). Kill date of vetch, rye, and a vetch-rye mixture: I. Cover crops and corn nitrogen. Agron. J. 89: 427-434.
7. COLLINO DJ, SALVAGIOTTI F, PERTICARINI A, PICCINETTI C, OVANDO G, URQUIAGA S, RACCA RW (2015). Biological nitrogen fixation in soybean in Argentina: relationships with crop, soil, and meteorological factors. Pant Soil 392: 239-252.
8. CONSTANTIN J, MARY B, AUBRION G, LAURENT F, FONTAINE A, KERVELLANT P, BEAUDOIN N (2010). Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. Agr. Ecosyst. Environ. 135: 268-278.
9. CRUZATE GA, CASAS RR (2012). 'Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina'. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 6: 1-14.
10. DE SÁ PEREIRA ED, GALANTINI JÁ, QUIROGA A (2012). Simulación de la dinámica de los residuos de cultivos de cobertura bajo siembra directa. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. 16 al 20 de Abril de 2012.
11. DI RIENZO JÁ, CASANOVES F, BALZARINI MG, GONZALEZ L, TABLADA M, ROBLEDO CW (2013). InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
12. DUVAL ME, CAPURRO JE, GALANTINI JA, ANDRIANI JM (2015). Utilización de cultivos de cobertura en monocultivo de soja: efectos sobre el balance hídrico y orgánico. Ci. Suelo, 33(2), 247-261.
13. DUVAL ME, GALANTINI JA, CAPURRO JE, MARTINEZ JM (2016). Winter cover crops in soybean monoculture: Effects on soil organic carbon and its fractions. Soil Till. Res. 161, 95-105.
14. FERNÁNDEZ R, FUNARO D, QUIROGA A. (2005). Influencia de cultivos de cobertura en el aporte de residuos, balance de agua y contenido de nitratos. En: Aspectos del manejo de los suelos en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda Pampeana. Anguil: Ediciones INTA. Boletín de divulgación técnica N° 87, pp.25-31
15. FERNÁNDEZ R, QUIROGA A, ARENAS F, ANTONINI C, SAKSM (2007). Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. En: QUIROGA A, BONO A (Eds.). Manual de fertilidad y evaluación de suelos. INTA. EEA-Anguil. Argentina. pp. 51-59.
16. GARCÍA F (2005). Soja: criterios para el manejo de la fertilización del cultivo. INPOFOS Informaciones Agronómicas. (27), 1-6.
17. GARCÍA FO, CORRENDO AA (2016). Cálculo de requerimientos nutricionales. Planilla de cálculo para estimar la absorción y extracción de nutrientes de cereales, oleaginosas, industriales, forrajeras y hortalizas. IPNI, Programa Latinoamérica Cono Sur. Acassuso, Bs. As., Argentina. Disponible en: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024> (revisado 19/10/2016).

18. HEAL OW, ANDERSON JM, SWIFT MJ (1997). Plant Litter Quality and Decomposition: An Historical Overview. In: CADISH G, KILLER KE (Eds.). *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. pp. 3-30.
19. INTA (1988). Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3360 – 13 y 14 – Cañada de Gómez – Rosario. INTA.
20. IYENGAR SS, MARTENS DC, MILLER WP (1981). Distribution and plant availability of soil zinc fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 735-739.
21. KACHAKA S, VANLAUWE B, MERCKX R (1993). Decomposition and nitrogen mineralization of prunings of different quality. In: MULONGOY K, MERCKX R (Eds.). *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture*. Wiley-Sayce, UK. pp. 199-208.
22. LINDSAY WL, NORVELL WA (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and cooper. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42: 421-428.
23. MAZZILLI SR, KEMANIAN AR, ERNST OR, JACKSON RB, PIÑEIRO G (2014). Priming of soil organic carbon decomposition induced by corn compared to soybean crops. *Soil Biol. Biochem.* 75: 273-281.
24. MIRETTI MC, PILATTI M, LAVADO RS, IMHOFF S (2012). Historia de uso del suelo y contenido de micronutrientes en argiudoles del centro de la provincia de Santa Fe (Argentina). *Ci. Suelo* 30: 67-73.
25. NEAL J, FULKERSON W, HACKER R (2011). Differences in water use efficiency among annual forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. *Agric. Water Manage.* 98(5):759-774.
26. PORTELA SI, ANDRIULO AE, JOBBÁGY EG, SASAL MC (2009). Water and nitrate exchange between cultivated ecosystems and groundwater in the Rolling Pampas. *Agric. Ecosyst. Environ.* 134, 277-286.
27. PUERTAS F, ARÉVALO E, ZÚÑIGA L, ALEGRE J, LOLI O, SOPLIN H, BALIGAR V (2008). Establecimiento de cultivos de cobertura y extracción total de nutrientes en un suelo de trópico húmedo en la amazonia Peruana. *Ecología Aplicada*, 7(1-2), 23-28.
28. QUIROGA A, FERNÁNDEZ R, FRASIER I, SCIANCA C (2009). Cultivos de cobertura. Análisis de su inclusión en distintos sistemas de producción. En *Jornadas Nacionales: Sistemas Productivos Sustentables. Fósforo, Nitrógeno y Cultivos de Cobertura*. AACs. Bahía Blanca, Argentina (En CD).
29. RESTOVICH SB, ANDRIULO AE, PORTELA SI (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.
30. RIMSKI-KORSAKOV H, ALVAREZ CR, LAVADO RS (2015). Cover crops in the agricultural systems of the Argentine Pampas. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(6), 134A-140A.
31. SAGPYA (2009). Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Acceso: 15/09/2009.
32. SAINJU UM, SINGH BP, WHITEHEAD WF (1998). Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. *Agron. J.* 90:511-518.
33. SAINJU UM, WHITEHEAD WF, SINGH BP (2003). Cover crops and nitrogen fertilization effects on soil aggregation and carbon and nitrogen pools. *Can. J. Soil Sci.*, 83(2), 155-165.
34. SALMERÓN M, ISLA R, CAVERO J (2011). Effects of winter cover crops species and planting methods on maize yield and N availability under irrigated Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 89-99.
35. SCHERER-LORENZEN M (2008). Functional diversity affects decomposition processes in experimental grasslands. *Functional Ecology*, 22(3), 547-555.
36. SCIANCA C, ÁLVAREZ C, BARRACO M, QUIROGA A (2007). Cultivos de cobertura: aporte de nutrientes y rastrojo de las diferentes especies. *Memoria Técnica 2006-2007*, 13.
37. SHUMAN LM (1988). Effects of organic matter on the distribution of manganese, copper, iron and zinc in soil fractions. *Soil Science Soc. Am. J.* 146: 192-198.
38. SIIA (2016). http://www.siiia.gov.ar/_apps/siiia/estimaciones/estima2.php. Acceso: 06-09-2016.
39. SILLANPAA M (1982). Micronutrients and the nutrient status of soils: A global study. *FAO Soils Bull.* 48. FAO, Organización de Naciones Unidas, Roma, Italia.
40. UNGER PW, VIGIL MF (1998). Cover crops effects on soil water relationships. *J. Soil Water Conserv.* 53:200-207.
41. VAN SOEST PV, ROBERTSON JB, LEWIS BA (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74(10): 3583-3597.
42. VÁZQUEZ M (2005). *Micronutrientes en la Agricultura*. 1º Edición. Asociación Argentina de las Ciencias del Suelo. 207 pp.