

IV Simposio Nacional de Agricultura

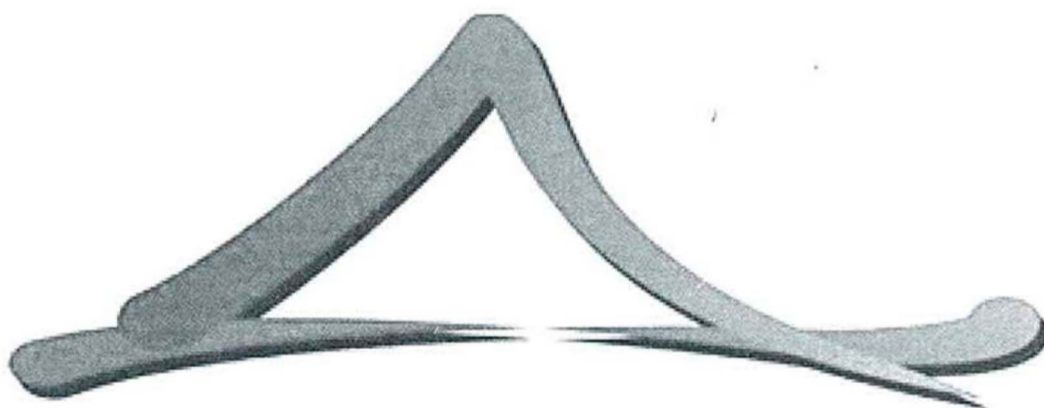
VII Encuentro de la SUCS I Encuentro Regional de Políticas de Conservación de Suelos

**Buscando el camino para la intensificación
sostenible para la agricultura**

**28 y 29 de Octubre 2015
Paysandú - Uruguay**



IV SIMPOSIO NACIONAL DE AGRICULTURA



**Organiza: Facultad de Agronomía.
Grupo Interdisciplinario Agricultura**

Título: IV SIMPOSIO NACIONAL DE AGRICULTURA

Coordinación general: Esteban Hoffman

Editores: Adela Ribeiro, Mónica Barbazán

Comisión Organizadora: Esteban Hoffman
Adela Ribeiro
Mónica Barbazán
Fernando O. García
Oswaldo Ernst

Secretaría: Pilar Etchegoimberry

Diseño de tapa: Nicolás Fassana, Esteban Hoffman

Imagen de tapa: Esteban Hoffman

© 2015 Universidad de la República. Facultad de Agronomía

Reservado todos los derechos de la presente edición para todos los países. Esta publicación no se podrá reproducir total o parcialmente por ningún método gráfico, electrónico, mecánico o cualquier otro, incluyendo los sistemas de fotocopia o fotoduplicación, registro magnetofónico o de alimentación de datos, sin expreso consentimiento de los editores.

Depósito Legal: 366-659/15

Impreso en Talleres Gráficos de
Editorial Hemisferio Sur
Buenos Aires 335. Tel.: 2916 4515 2916 4520 (Fax)
Correos electrónicos: editorial@hemisferiosur.com.uy
libreriaperi@hemisferiosur.com.uy
www.hemisferiosur.com

El sistema agrícola bajo amenaza: ¿qué aportan los cultivos de cobertura y/o las pasturas cortas?

J. Sawchik¹, G. Siri², W. Ayala³, E. Barrios³,
M. Bustamante², M. Ceriani², F. Gutiérrez¹,
J. Mosqueira², C. Otaño⁴, M. Pérez²,
G. Piñeiro⁴, P. Pinto⁴, J. Terra³, R. Zarza¹

INTRODUCCIÓN

En nuestro país, al igual que en toda la región, se verifica la ocurrencia de dos procesos simultáneos que han determinado un aumento global del área agrícola. Estos procesos se pueden dividir básicamente en: a) expansión del área agrícola, es decir, ingreso de áreas pastoriles o ganaderas a esquemas agrícolas y b) intensificación agrícola, esto es, la realización de un mayor número de cultivos por unidad de superficie. En particular, el incremento del área agrícola ha sido sostenido desde la zafra 2002-2003, y tiene al cultivo de soja como protagonista principal de esta expansión. Así, el área sembrada con este cultivo ha tenido un crecimiento explosivo, pasando de 9.000 ha en 1998 a cerca de 1.300.000 ha en 2014 (DIEA-MGAP, 2014). En ese marco, la soja presenta una muy alta participación porcentual (más del 85%) entre los cultivos de verano y más que duplica el área total de cultivos de invierno para grano.

La simplificación de los sistemas de producción, que tienden a la agricultura continua con un diseño de baja diversidad de cultivos y alta frecuencia de

soja, genera desafíos importantes para la sustentabilidad de los sistemas agrícolas del país. Durante buena parte del siglo XX los sistemas agrícola ganaderos de Uruguay se basaron en rotaciones de cultivos anuales con pasturas perennes en proporciones casi equivalentes (Morón y Sawchik 2002; Ernst y Siri-Prieto, 2009). Este sistema de rotación, que alterna una fase agrícola de 2 o 3 años con una fase de pradera pastoreada de 3 a 4 años, ha demostrado sus bondades desde varios puntos de vista: el control de la erosión, las entradas de Carbono (C) y Nitrógeno (N) al sistema, la adecuada complementación de rubros, entre otros. La adopción generalizada del actual esquema agrícola de producción plantea interrogantes sobre la sustentabilidad del recurso suelo, sus impactos en el recurso agua y la aparición de otros problemas como la degradación física de los suelos. En esencia, son de particular preocupación los balances negativos de C y N y la falta de cobertura sobre el suelo en determinados períodos del año. Es necesario, entonces, trabajar en alternativas que diversifiquen el sistema, mejoren o aumenten la entrada de C y N al mismo,

¹INIA La Estanzuela.

²Facultad de Agronomía, Udelar.

³INIA Treinta y Tres.

⁴Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires.

y reduzcan al máximo los períodos en los que el suelo se encuentra con baja cobertura por residuos, y por tanto, más susceptible a los procesos de erosión.

Paralelamente Uruguay ha implementado, dentro de sus políticas públicas, el desarrollo y aplicación de los Planes de Uso y Manejo del Suelo con el objetivo de reducir o mitigar el principal problema ambiental de nuestro país: la erosión de suelos. En este marco es necesario brindar nuevas alternativas para el diseño de los sistemas agrícolas. Las mismas tienen que guardar estrecha relación con la aptitud de uso de los suelos, pero necesariamente deben tomar en cuenta todos los problemas mencionados anteriormente.

Del análisis de los actuales sistemas de producción agrícola, se desprende que es necesario trabajar en el diseño de alternativas que mejoren los aspectos ya reseñados. En ese marco, la inclusión de cultivos de cobertura (CC) o, en un esquema más agrícola-ganadero, la rotación con pasturas cortas, parecen ser alternativas viables para construir sistemas agrícolas o agrícola-ganaderos que detengan el deterioro físico, químico y biológico del recurso suelo, manteniendo los márgenes de los cultivos de renta. Los cultivos de cobertura son aquellos que se siembran específicamente para mantener el suelo cubierto, minimizando las pérdidas de suelo por erosión, y la pérdida de nutrientes en sedimentos o por lavado (Ernst, 2004). Además pueden mejorar el balance de C del suelo mediante su aporte de C por la parte aérea y raíces. En el caso de incorporar leguminosas se pretende, además, lograr un ingreso adicional de N al sistema.

En un sistema agrícola con alta frecuencia del cultivo de soja puede esperarse que los niveles de materia orgánica (MO) en el suelo se reduzcan debido al escaso retorno de residuos de fácil descomposición. Por otra parte, la alta

exportación de N en el grano determina la ocurrencia de balances negativos de este nutriente (Caviglia et al., 2010). Además, la baja cobertura de residuos puede incrementar el riesgo de erosión hídrica y afectar la estructura del suelo afectando la entrada de agua al sistema (Caviglia et al., 2010). En este sentido, la utilización de CC parece ser una alternativa para captar de manera más eficiente la radiación y el agua, así como aportar residuos vegetales frescos.

En este artículo se analizan las diferentes alternativas disponibles, su posible manejo en base a la investigación nacional y se discuten sus implicancias en el diseño de los sistemas de producción.

UBICACIÓN DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA EN EL SISTEMA AGRÍCOLA

El esquema agrícola actual indica que el cultivo que tiene el mando de la rotación sea la soja. En este marco, el área actual de soja más que duplica la suma del área de los cultivos de invierno para grano (trigo, cebada, colza). Esto determina que durante la secuencia agrícola, se generen períodos de barbecho largos, con alto riesgo de erosión entre cultivos de verano y más precisamente entre la cosecha de los cultivos de soja de segunda y la soja o maíz de primera. Surge entonces, que el principal problema a solucionar en el corto plazo, es la generación de cobertura rápida, durante el invierno, para proteger al suelo del efecto de la gota de lluvia. Es este entonces, desde el punto de vista del control de la erosión, el período más indicado para colocar un CC. Es una mirada parcial del problema, que no atiende o atiende parcialmente, a los otros aspectos de dinámica de nutrientes como la degradación física o falta de N en el sistema. Sin embargo, sí es importante conocer de qué especies disponemos y

cuál es su manejo, para que esta cobertura sea efectiva y tenga beneficios secundarios en las propiedades del suelo y dinámica de agua, sin afectar el cultivo de renta.

Alternativas a ser utilizadas como cultivos de cobertura y su manejo

El uso de CC, para mejorar biológicamente estados estructurales del suelo bajo siembra directa continua, es de amplio uso en el sur de Brasil y en Paraguay (Sasal y Andriulo, 2005). En términos generales, los CC tienen un impacto positivo sobre el control de la erosión cuando no hay período de cultivo, inmovilizan nutrientes solubles previniendo su lixiviación, agregan MO, y mejoran la agregación, entre otros aspectos (Sasal y Andriulo, 2005). Es importante considerar que el concepto amplio de CC engloba otros términos o definiciones como abonos verdes, o cultivos trampa. En el primer caso, en general, se utilizan leguminosas que fijan N y proveen entonces una fuente de N orgánico al sistema. Los cultivos trampa, por su parte, se introducen en los sistemas agrícolas en los períodos de barbecho para tomar nutrientes, en especial N, que de otra manera se pueden perder del sistema (Kaspar y Singer, 2011). En especial el uso de CC se ha extendido en los últimos años en Estados Unidos con un objetivo claramente ambiental de capturar nutrientes durante el período de barbecho y así disminuir los problemas de contaminación difusa.

En términos generales, las especies de CC más utilizadas en nuestro país, son gramíneas anuales (avena o rai-grás), reconocidas por su precocidad o por poseer altas tasas de crecimiento durante el invierno. Por otra parte, el empleo de leguminosas anuales o especies del género *Raphanus* ha sido menos relevante. En este sentido, cabe

señalar, que todos ellos poseen atributos y funciones diferenciales que deben conocerse para saber cuál podrá ser su impacto en el sistema.

En ese marco y en los últimos años, los esfuerzos de la investigación nacional se han dirigido a conocer el potencial de producción de diferentes especies de CC en diferentes ambientes. Por otro lado, se ha enfatizado en aspectos de manejo relevantes para estas especies: época y método de siembra, momento de supresión, impactos en la disponibilidad de agua y nutrientes e impactos sobre el cultivo de renta. Para un mejor análisis de la información presentaremos los resultados obtenidos según regiones.

PRODUCCIÓN Y MANEJO DE CULTIVOS DE COBERTURA EN LA ZONA ESTE

En primer lugar se presentan resultados de una serie de experimentos llevados a cabo por INIA Treinta y Tres en la zona de Lomadas del Este (cuadro 1). En esta región los rendimientos de los cultivos de invierno para grano son muy variables y la aptitud de los suelos para cultivos como trigo es baja. Por tanto, aun cuando en la mayor parte de los ambientes edáficos de esta región la agricultura solo es viable en rotación con pasturas, dentro de la fase agrícola es necesario incluir CC, esto es, se requiere intensificar la fase de cultivos. En estos experimentos se compararon los métodos de siembra al voleo (pre-cosecha de la soja) y en líneas para una serie de CC. Las fechas de siembra utilizadas fueron: año 2012, voleo 26/4, líneas 9/5; año 2013, voleo 10/4, líneas 13/6; y año 2014, voleo 4/4 y líneas 15/5. Por su parte, la fecha de supresión varió entre años pero se realizó al menos 45 días antes de la siembra del cultivo de soja posterior.

Cuadro 1. Producción acumulada de forraje (MS especie pura, kg.ha⁻¹) de los cultivos de cobertura para dos métodos de siembra, evaluados en la Unidad Experimental Palo a Pique para las zafras 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015 (Barrios et al., 2015).

Cultivos de cobertura	2012-2013	2013-2014		2014-2015	
	Promedio (voleo-línea)	Voleo	Líneas	Voleo	Líneas
<i>Raphanus sativus</i> Brutus	8557 a	3942 bcde	2304 fghij	2140 cdef	1648 efghi
<i>Raphanus sativus</i> Reset	6236 b	4286 bc	2577 fghi	1060 k	1177 hljk
<i>Raphanus sativus</i> CCS-779	6194 b	4020 bcd	2825 efgh	1016 k	1608 efghijk
<i>Lolium multiflorum</i> INIA Cetus	5381 bc	4667 b	2101 fghij	2971 a	1833 defghij
<i>Avena strigosa</i> CALPROSE Azabache	8885 a	4531 bc	2293 defg	2451 abcd	3172 a
<i>Trifolium vesiculosum</i> Sagit (Glencoe EC1)	2782 de	2222 fghij	1462 ij	1822 defghij	1923 defghi
<i>Vicia sativa</i> Barril	2508 e	3397 cdef	1825 hij	2075 cdefg	--
<i>Vicia villosa</i> Amoreira	--	--	--	--	2728 abc
<i>Trifolium resupinatum</i> LE 90-33	3282 de	1881 fghij	1360 ij	1571 efghijk	1715 efghij
<i>Lupinus luteus</i> Cárdlga	7581	7281 a	2088 fghij	2637	4081
<i>Lupinus luteus</i> Mister	--	--	--	1148	1243
<i>Trifolium alexandrinum</i> INIA Calipso	4246 cd	2896 defgh	2346 fghij	2019 cdefgh	2879 ab
<i>Trifolium subterraneum</i>	2320 e	2261 fghij	1908 fghij	1077 jk	1084 ijk
Testigo sucio	2709 de	1848 fghij	1608 ij	2107 cdefg	1923 defghi
Al voleo	4996	3621		1849	
En línea	4659		2058		1989
Método de siembra (p)	0,3188	<0,0001		0,2147	
Especie (p)	<0,0001	<0,0001		<,0001	
Método de siembra x especie (p)	0,6613	<0,0001		0,0079	

Nota: No se incluyó en el análisis a *Lupinus luteus* en 2012-2013 ni en 2014-2015. En la zafra 2012-2013 el cultivar de *Trifolium subterraneum* usado fue Goulburn y en 2013-2014 Bindoon. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre cultivos de cobertura dentro de cada zafra (MDS 5%).

En el primer año, la producción de forraje acumulada de los CC al 25/9/2012 no mostró diferencias significativas entre métodos de siembra, aunque sí se detectaron diferencias entre los materiales evaluados, por otro lado, la interacción método por especie no resultó significativa. Los materiales más productivos resultaron ser *Raphanus sativus* Brutus y *Avena strigosa* Calprose Azabache, superando las 8 toneladas de MS en el período considerado (Terra et al., 2013).

En el segundo año se registró, para la producción de forraje acumulada al 2/10/2013, una interacción significativa ($p < 0,0001$) método por especie, por lo que la información se presenta desagregada para cada método (cuadro 1).

En promedio, la siembra al voleo fue 76% superior a la siembra en líneas, asociado esto a las condiciones climáticas propias de la época del año, que determinaron un retraso en la siembra en líneas, que afectó el rendimiento al momento de eliminar la cobertura. La producción de lupino resultó destacada en siembra al voleo y muy superior a la siembra en líneas, lo que refuerza la importancia de la época en que se siembra esta especie para lograr altas acumulaciones de forraje. Los materiales del género *Raphanus* así como avena y raigrás mostraron un comportamiento destacado. En general se observó un comportamiento aceptable de todos los materiales en

siembras al voleo. El hecho de esperar a cosechar para luego realizar una siembra directa no resulta una ventaja productiva, sumado al incremento en costos que esta técnica implica y la oportunidad limitada en fechas de siembra tempranas en el caso de otoños lluviosos.

De la misma manera que en el segundo, en el tercer año de evaluación, se registró, para la producción de forraje acumulada al 24/9/2014, una interacción método por especie significativa ($p=0,0079$), por lo que la información se presenta desagregada por método (cuadro 1). En general, los rendimientos fueron los más bajos en la serie de años evaluada; en la siembra al voleo se destacan el comportamiento de raigrás y avena y para la siembra en líneas avena, *Vicia villosa* y *Trifolium alexandrinum*. Los resultados observados para los cultivares de lupino, muestran en forma preliminar, diferencias importantes en producción a favor del cultivar Cárdiga (Barrios et al., 2015).

PRODUCCIÓN Y MANEJO DE CULTIVOS DE COBERTURA EN EL LITORAL SUR

En los esquemas de producción agrícola de esta región, los principales pro-

blemas a solucionar, además de la falta de cobertura invernal (cuando se saltea el cultivo de invierno para grano), son el balance negativo y el escaso aporte de N de los suelos por la secuencia dominante, y los problemas de degradación física superficial y sub-superficial. Durante el año 2012 se instaló en INIA La Estanzuela un experimento en el que se incluían como variables de estudio diferentes especies de CC y dos momentos de supresión del CC (temprano o barbecho largo y tardío o barbecho corto), en el marco de una secuencia soja-soja. El método de siembra fue en líneas en 2012 y al voleo pre-cosecha de la soja en 2013 y 2014. Las especies y densidades de siembra correspondientes se presentan en el cuadro 2.

Las fechas de siembra utilizadas fueron: año 2012, 3 de abril; año 2013, 18 de abril; año 2014, 28 de abril. La fecha de supresión temprana (barbecho largo) se realizó a fin de agosto-primer década de setiembre, mientras que la fecha de supresión tardía se realizó entre el 5 y el 15 de octubre. La producción acumulada de forraje para los años evaluados se presenta en el cuadro 3.

Existió una gran variabilidad en el potencial de rendimiento de los CC, con implantación más pobre en los años 2013 y 2014 (siembras al voleo). Si las

Cuadro 2. Especies, cultivares y densidades de siembra de las coberturas invernales utilizados en los tres años de evaluación en INIA La Estanzuela.

Especie	Cultivar	Densidad de siembra (kg.ha ⁻¹)
<i>Trifolium resupinatum</i>	LE 90-33	20
<i>Trifolium subterraneum</i>	Goulburn	15
<i>Trifolium alexandrinum</i>	Calipso	20
<i>Trifolium vesiculosum</i>	Sagit	15
<i>Vicia sativa</i>	Barril	50
<i>Avena sativa</i>	1095	80
<i>Lolium multiflorum</i>	Camaro	20
<i>Raphanus sativus</i>	Brutus	14
<i>Raphanus sativus</i>	Reset	14

En los años 2013 y 2014 el cultivar Reset fue sustituido por el cultivar CCS-779.

Cuadro 3. Producción de las diferentes coberturas invernales (kg MS.ha⁻¹) para los tres años de evaluación en INIA La Estanzuela y p-valor para cada variable analizada por año.

Cultivos de cobertura	2012		2013		2014	
	Temp.	Tard.	Temp.	Tard.	Temp.	Tard.
<i>Trifolium resupinatum</i> LE 90-33	4081	6176	869	2635	1745	1583
<i>Trifolium subterraneum</i> Goulburn	---	2616	---	3047	---	3258
<i>Trifolium alexandrinum</i> Calipso	4565	5725	968	4059	2319	1947
<i>Trifolium vesiculosum</i> Sagit	3512	6042	765	3785	1049	2878
<i>Vicia sativa</i> Barril	3076	4381	2420	4148	3888	3420
<i>Avena sativa</i> 1095	5593	6861	3028	4808	1367	2095
<i>Lolium multiflorum</i> Camaro	2934	3906	1623	4554	2133	2514
<i>Raphanus sativus</i> Brutus	5140	6932	3141	5392	1910	1694
<i>Raphanus sativus</i> Reset	3226	4701	3512	4828	3272	2943
Testigo limpio	---	---	---	---	---	-
Especie(p)	0,0561	0,0755	0,0004	0,2857	0,0001	0,0095
Inicio de barbecho(p)	0,0042		<0,0001		0,3261	
Especie x Inicio de barbecho(p)	0,9828		0,7635		0,0382	

Nota: Temp: momento de supresión temprana; Tard: momento de supresión tardío. En los años 2013 y 2014 el cultivar Reset fue sustituido por el cv. CCS-779.

condiciones de humedad y cobertura, por las hojas del cultivo de soja, no son las más adecuadas, este manejo, más fácil de llevar a la práctica, no logra excelentes condiciones de implantación. En general, se destaca la mayor producción temprana de avena, y cultivares de *Raphanus* ($p < 0,05$). Esto es más claro en los tratamientos de supresión temprana (barbecho largo), pues estas especies tienen una mayor tasa de crecimiento invernal en comparación con las leguminosas anuales. En el mismo sentido, algunas especies de leguminosas anuales tuvieron rendimientos comparables con las gramíneas y los cultivares de *Raphanus*, con aceptables tasas de crecimiento invernales. También en términos generales, el crecimiento suplementario durante el mes de setiembre, para los barbechos tardíos, permitió que las leguminosas exploraran un mayor potencial de rendimiento, lo cual es esperable por su tipo de crecimiento. Esto determina que en un objetivo de cobertura rápida del suelo, avena y

los cultivares de *Raphanus* presentan ventajas sobre el resto de las especies. Es destacable el comportamiento de *Vicia sativa*, que dentro de las leguminosas presenta la mayor tasa de crecimiento invernal. Para el resto de las leguminosas, es necesario utilizar fechas de supresión tardías, para aprovechar el aumento en las tasas de crecimiento durante el mes de setiembre. En el caso del trébol subterráneo, su lógica de incorporación al sistema es diferente, en tanto es de lenta implantación pero de ciclo más largo, por lo que la lógica aquí es introducirla pensando en resiembras naturales durante la secuencia agrícola. El método de siembra no era una variable bajo estudio, pero claramente la siembra en líneas determina siembras más tardías que pueden perjudicar en mayor medida a las leguminosas. Parece clave lograr implantaciones con buena humedad y cobertura por las hojas de la soja no más allá del 15 de abril. Por tanto, para que el sistema funcione en la rotación debe también elegirse

adecuadamente la época de siembra y el ciclo o grupo de madurez del cultivo de soja previo.

Como complemento a estos trabajos, y desde 2012, se condujo en INIA La Estanzuela un amplio «screening» de leguminosas anuales para su utilización como CC en los sistemas agrícolas. De este primer screening se seleccionaron especies candidatas y se establecieron en 2013 y 2014 experimentos de épocas de siembra (marzo, abril y mayo) evaluando la acumulación de materia seca (MS), el contenido de N del forraje y una estimación del N proveniente de la FBN (fijación biológica de N) (datos no presentados). Se presentan los datos de producción de 2014 para dos series de experimentos, en los que las leguminosas se separaron según su porte y hábito de crecimiento (figuras 1 y 2). Se eligieron trébol rojo y trébol alejandrino como testigos ya que el volu-

men de información disponible sobre estas especies es importante.

En estos experimentos sembrados en línea las mayores acumulaciones de forraje se produjeron en las siembras de marzo y abril, luego de esa fecha y para casi todas las especies la producción cayó en siembras de mayo, lo cual determinaría la baja eficacia de una siembra tan tardía. Los registros de FBN en estas especies son variables, destacándose los altos porcentajes en aquellas especies en los que se ha venido trabajando en mejoramiento genético desde hace años (datos no presentados). Por lo tanto, la siembra en el eje del 15 de abril determinaría producciones muy aceptables de estas leguminosas, siempre teniendo en cuenta que, en general, son especies de menor tasa de crecimiento invernal que las gramíneas (en particular avenas) y los cultivares de *Raphanus*.

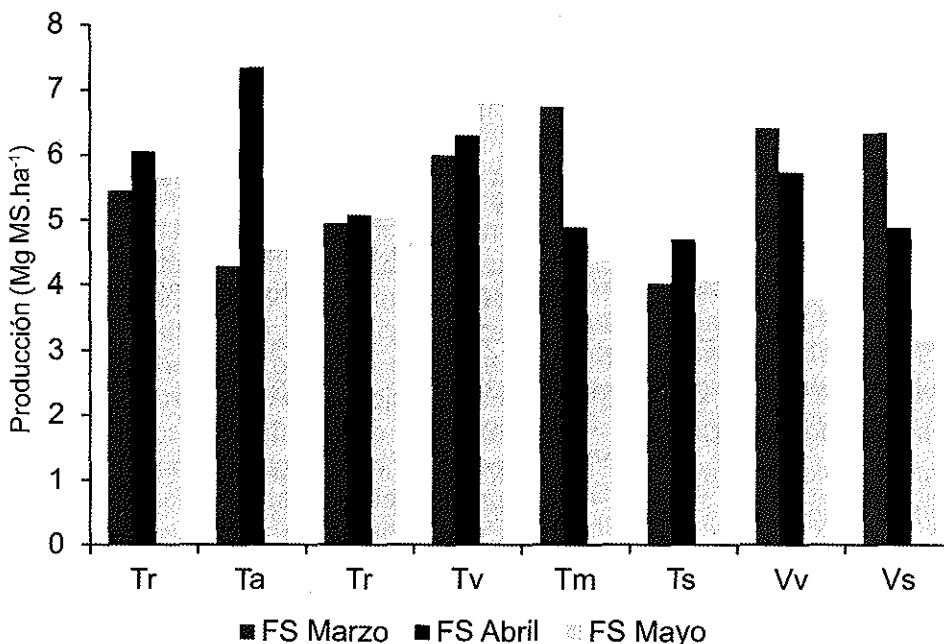


Figura 1. Acumulación de materia seca (medida al 17 de setiembre en fecha de siembra (FS) de marzo y abril; 16 de octubre en FS de mayo) de diferentes leguminosas anuales en 3 épocas de siembra (26 de marzo, 15 de abril y 30 de mayo) en 2014. Referencias: TR: Trébol rojo LE 116, Ta: *Trifolium alexandrinum*, Tr: *Trifolium resupinatum*, Tv: *Trifolium vesiculosum*, Tm: *Trifolium michelianum*, Ts: *Trifolium subterraneum*, Vv: *Vicia villosa*, Vs: *Vicia sativa*.

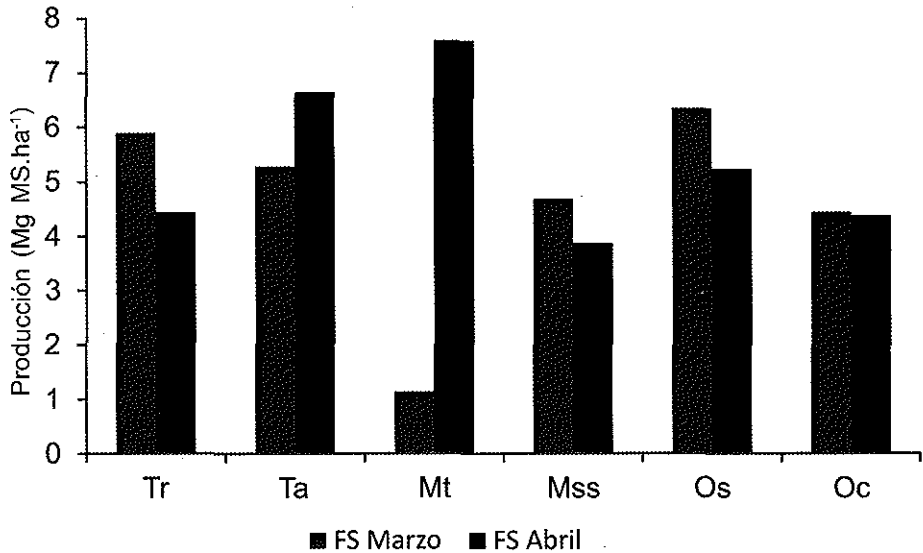


Figura 2. Acumulación de materia seca (medida al 17 de setiembre) de diferentes leguminosas anuales en 2 fechas de siembra (FS) (26 de marzo y 15 de abril) en 2014. Referencias: Tr: Trébol rojo LE116, Ta: *Trifolium alexandrinum*, Mt: *Medicago truncatula*, Mss: *Medicago scutellata sava*, Os: *Ornithopus sativus*, Op: *Ornithopus compressus*.

EL APORTE DE NITRÓGENO AL SISTEMA

En los experimentos realizados en el Este y Litoral Sur, se efectuaron determinaciones de N en planta para evaluar la potencial entrada de este nutriente al

sistema por la parte aérea. Asimismo se obtuvieron valores de contenido de N en las raíces (datos no presentados), por la importancia del sistema radical en la construcción de materia orgánica del suelo (MOS). A manera de ejemplo se presentan datos de los experimentos de INIA Treinta y Tres (cuadro 4).

Cuadro 4. Aporte del cultivo de cobertura (materia seca y nitrógeno) al momento de la supresión del cultivo de cobertura en INIA Treinta y Tres (año 2012).

Tratamiento	Aporte del cultivo de cobertura		
	MS (kg.ha ⁻¹)	N en forraje (%)	N (kg.ha ⁻¹)
<i>Trifolium resupinatum</i> LE 90-33	3282	3,83	126
<i>Trifolium subterraneum</i> Goulburn	2320	3,75	87
<i>Trifolium alexandrinum</i> Calipso	4246	3,54	150
<i>Trifolium vesiculosum</i> Sagit	2782	4,06	113
<i>Vicia sativa</i> Barril	2508	3,24	81
<i>Avena strigosa</i> Azabache	8885	1,92	171
<i>Lolium multiflorum</i> Cetus	5381	2,18	117
<i>Raphanus sativus</i> Brutus	8557	1,63	139
<i>Raphanus sativus</i> Reset	6236	1,63	102
<i>Raphanus sativus</i> CCS-779	6194	1,63	101
<i>Lupinus luteus</i> Cardiga	7581	3,24	246

El momento de supresión a fecha fija introduce un sesgo en la cantidad de N que puede entrar al sistema, debido a la variación en estadios fenológicos de las diferentes especies. Sin embargo, las cantidades son importantes por la cantidad de MS producida o por el propio contenido de N del forraje. A su vez, no están considerados aquí las entradas de N vía raíces. En todo caso, hay que recordar que las leguminosas van a tomar parte del N que requieren del suelo y el resto de la FBN. Los resultados preliminares (datos no mostrados) muestran una importante variabilidad en la FBN de las diferentes especies evaluadas, lo que determina la necesidad de profundizar los trabajos en rizobiología para muchas de estas especies.

La literatura nacional e internacional coincide en los aspectos de calidad del forraje (relación C/N, contenido de lignina, polifenoles, entre otros) que afectan, junto a la temperatura y la humedad, la descomposición y mineralización de N de los CC. En general, también coinciden en que el principal beneficio de los abonos verdes o leguminosas anuales es aumentar el N orgánico del suelo, más que la propia residualidad hacia el siguiente cultivo. Datos nacionales muestran también que hay un desfase entre la oferta de N por el abono verde y la demanda por el cultivo siguiente (Ernst, 2004), comúnmente denominada asincronía. Así, la recuperación aparente de N por una gramínea posterior es relativamente baja. En esquemas de producción, como los sistemas agrícolas de Uruguay, donde la cabeza de rotación es la soja, la incorporación de leguminosas anuales jugaría el rol de neutralizar parte del balance negativo de N que tiene el sistema, a través de una mayor incorporación al pool de N lábil.

PRODUCCIÓN Y MANEJO DE CULTIVOS DE COBERTURA EN EL LITORAL NORTE

Los trabajos realizados en esta región se han enfocado en los impactos de los CC en el corto y mediano-largo plazo en el sistema. En este sentido se llevó a cabo un experimento en la EEMAC (Paysandú), durante tres años (2004-2006) en el que se determinó el efecto de diferentes fechas de terminación del raigrás (inicio del barbecho) y tres grupos de madurez de soja, sobre el contenido de agua del suelo durante todo el ciclo y los rendimientos de soja. Para ello se utilizaron cuatro fechas de inicio del barbecho (0, 20, 40 y 60 días antes de la siembra de soja) y los grupos de madurez de soja incluidos fueron corto, medio y largo (IV, VI y VIII, respectivamente).

En el año 2004 se obtuvieron los mayores rendimientos en materia seca, debido a excelentes condiciones ambientales (temperatura y precipitaciones), comparado a los otros dos años (figura 3). Por otro lado, en el año 2006, solamente en el tratamiento en el que se dejó crecer el raigrás hasta la fecha de siembra de la soja (31 de octubre; tratamiento 0 largo de barbecho) se obtuvo una productividad mayor a $2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, con los demás tratamientos se obtuvieron valores por debajo de $1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Estas diferentes productividades del raigrás afectaron directamente los niveles de agua que se pudieron almacenar en el suelo (figuras 4 y 5).

Como se muestra en la figura 4, en el día 260 del año 2004 el tratamiento de 60 días de barbecho presentaba desde hacía 20 días una cobertura de raigrás sin crecimiento por acción del herbicida; de esta forma pudo comen-

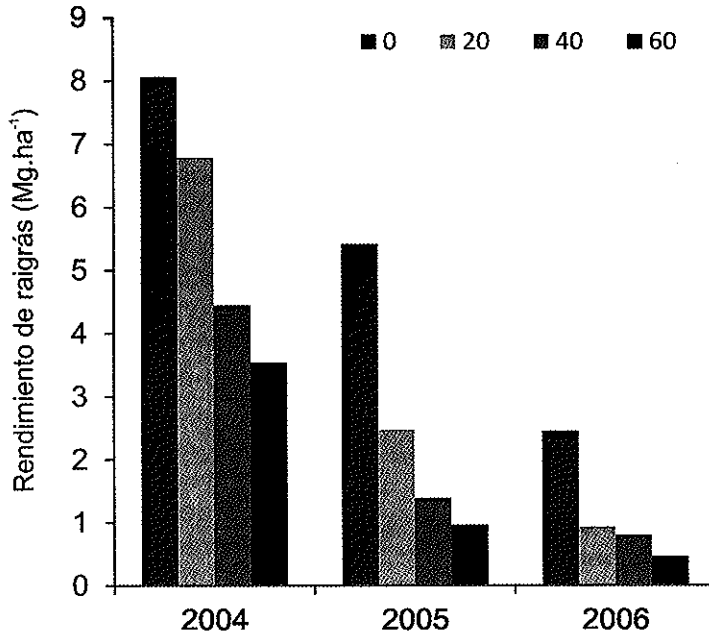


Figura 3. Producción de materia seca del raigrás según manejo del largo de barbecho (0, 20, 40 y 60 días) en tres años de evaluación (EEMAC 2004-2006).

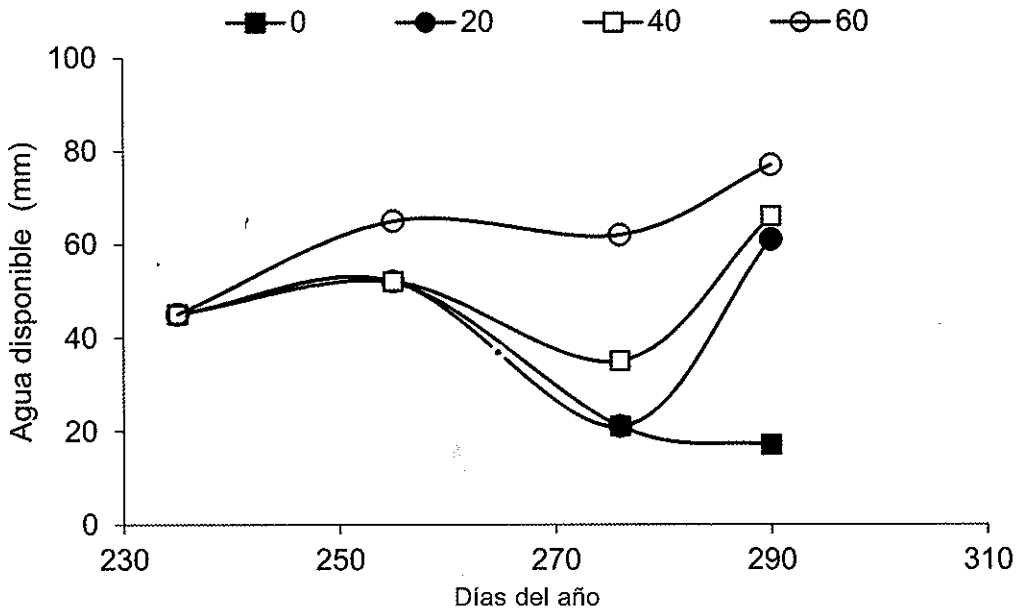


Figura 4. Contenido de agua disponible del perfil del suelo (0 a 70 cm de profundidad) en 2004 según periodo de barbecho (0, 20, 40 y 60 días) para el cultivo de cobertura raigrás durante la primavera (EEMAC 2004).

zar a recargar el perfil alcanzando a tener 68 mm de agua disponible (AD). Durante ese período las precipitaciones fueron de 40 mm, por lo que el balance entre el agua consumida por la cobertura y el agua aportada por la lluvia fue positivo, como lo muestra el incremento de agua disponible (de 45 a 52 mm en los otros tres tratamientos). Cuando se inició el barbecho de 20 días (DDA 280), el mayor contenido de AD lo seguía teniendo el tratamiento de 60 días con 66 mm, que en ese momento llevaba 40 días sin crecimiento vegetal. En cambio, los tratamientos de 20 y 0 días aún tenían el raigrás consumiendo agua y por esto presentaron el menor contenido de AD (21 mm).

El día de la siembra de soja (DDA 300), los tratamientos que presentaron más AD acumulada en el total del perfil de 0 a 70 cm de profundidad fueron el de 60, 40 y 20 días de barbecho, no existiendo diferencias significativas entre los mismos. Esto se debió a que no hubo pérdidas de agua por consumo de la cobertura, permitiendo una mayor recarga producida por las precipitaciones en el período de 20 días antes de la

siembra (60 mm). El caso en que la cobertura de raigrás se mantuvo creciendo hasta el día de la siembra (tratamiento 0 días), presentó la menor cantidad de AD en el total del perfil (18 mm), difiriendo significativamente ($P < 0,10$) de los tres restantes períodos de barbecho. De acuerdo con Corak et al. (1991), una desventaja importante de la utilización de CC, es el uso del agua, ya que si no existe recarga del perfil durante el período de barbecho posterior, el cultivo de cobertura podría transformarse en una limitante para el cultivo de soja.

En 2005, no se encontraron diferencias en el contenido de agua en el suelo entre los tratamientos de largo de barbecho (figurá 5), esto se debió a que las precipitaciones durante ese período superaron los 300 mm. Durante primaveras muy lluviosas, donde se hace fácil la recarga de agua del suelo, el efecto de los largos de barbecho se minimizan. No ocurre lo mismo con la disponibilidad de N, donde el efecto de abundantes precipitaciones probablemente afecte de manera negativa la disponibilidad del nutriente (pérdidas por lavado, desnitrificación, etc.).

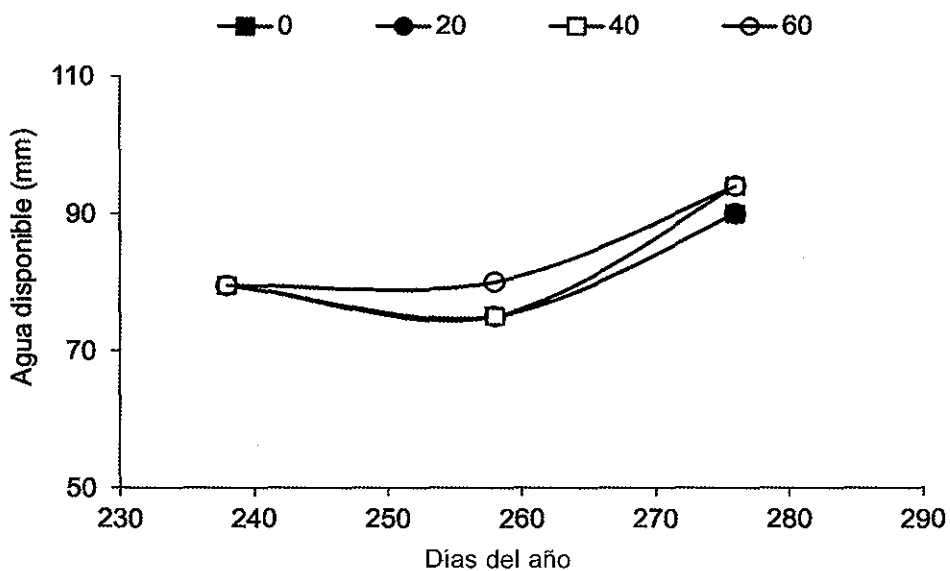


Figura 5. Contenido de agua disponible del perfil del suelo (0 a 70 cm de profundidad) en 2005, según período de barbecho (0, 20, 40 y 60 días) para el cultivo de cobertura raigrás durante la primavera (EEMAC 2005).

Por el contrario, en el ensayo realizado al año siguiente (2006; figura 6) los contenidos de agua disponible en el suelo fueron distintos dependiendo del largo de barbecho. Los tratamientos 20 y 0 días de barbecho presentaron los valores de agua disponible más bajos, resultando en valores por debajo de 20 mm.

Se encontró una interacción entre año evaluado, período de barbecho y grupo de madurez de soja. Para los tratamientos con 20 o más días de barbe-

cho, no se encontraron diferencias significativas en rendimiento en soja en los tres años evaluados (cuadro 5). Este efecto coincide en términos generales con los datos observados para las otras regiones (datos no presentados). Solamente el largo de barbecho 0 días, en el primer año de evaluación (2004) fue el que afectó drásticamente el rendimiento de soja en el grupo de madurez medio, no habiéndose encontrado diferencias con los otros grupos de madurez. Por lo tanto, esta información esta-

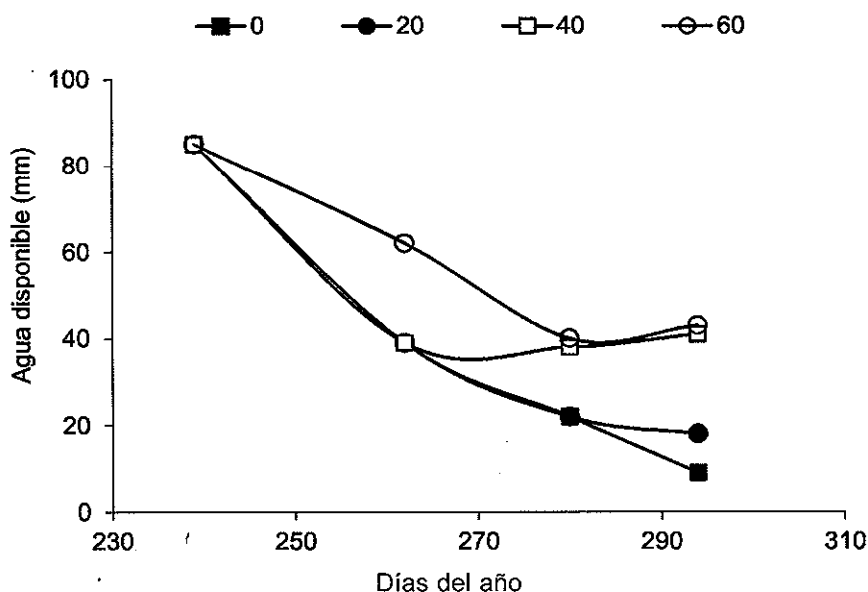


Figura 6. Contenido de agua disponible del perfil del suelo (0 a 70 cm de profundidad) en 2006 según período de barbecho (0, 20, 40 y 60 días) para el cultivo de cobertura raigrás durante la primavera (EEMAC 2006).

Cuadro 5. Rendimiento del cultivo de soja ($Mg \cdot ha^{-1}$) según largo del barbecho del cultivo de cobertura raigrás y grupo de madurez de soja en el ensayo en la EEMAC (2004-2006).

Largo de barbecho	2004			2005			2006		
	Corto	Medio	Largo	Corto	Medio	Largo	Corto	Medio	Largo
60	2,22	2,56	2,97	2,86	3,54	3,76	2,11	2,56	0
40	2,21	2,36	2,88	3,04	3,22	3,8	1,87	2,06	0
20	2,14	2,18	2,75	3,02	3,59	3,77	1,99	2,49	0
0	sd	1,53	2,52	sd	3,53	3,71	sd	2,42	0
	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Sd: sin datos; ns: no significativo.

ría indicando que no son necesarios períodos de barbecho mayores a 20 días en soja, ya que este cultivo define el rendimiento muy adelante en su ciclo, y es poco afectado por las condiciones a la siembra del mismo (bajos valores de agua disponible, muy bajo N, etc.).

En la revisión de la información generada a nivel nacional hemos hecho énfasis en los siguientes aspectos: elección y producción de los CC (tasas de crecimiento, época de siembra), impactos de corto plazo en los cultivos de renta, impactos en la disponibilidad de agua y nutrientes.

En una mirada de más largo plazo haremos referencia a la información disponible a nivel nacional en experimentos de mayor duración para, además de los eventuales impactos en los cultivos de renta, dar una mirada a los efectos en las propiedades del suelo. Tomaremos como ejemplo dos experimentos que fueron instalados en el Litoral Norte (EEMAC-Paysandú) e INIA La Estanzuela (Colonia).

IMPACTOS DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA EN EL MEDIANO PLAZO

Diferentes cultivos de cobertura para maíz (EEMAC-Paysandú)

Se llevó a cabo un experimento para evaluar diferentes CC invernales y su efecto en algunas propiedades del suelo y en el rendimiento del cultivo de maíz, durante ocho años continuos en la EEMAC (Paysandú). El suelo se clasifica como Brunosol Éutrico Típico (MGAP, 1976) con una capacidad de retención de agua disponible de 100 mm en los primeros 60 cm de suelo. El experimento se inició sobre una pradera vieja. Los tratamientos de cobertura evaluados fueron: avena (*Avena sativa*

L.), raigrás anual (*Lolium multiflorum* L.), triticale (*Triticosecale wittmack*), trébol alejandrino (*T. alexandrinum*), arveja (*Pisum sativum* L.) y sin cobertura (barbecho limpio). Aunque la mayoría de los cultivos de maíz en Uruguay se siembran en setiembre, en este experimento la siembra se realizó a principios de noviembre, para dar oportunidad al crecimiento de los cultivos de cobertura invernales, de no hacerlo así, la evaluación de los CC no tendría sentido porque sólo tendrían un crecimiento de 2-3 meses.

La producción de MS fue muy afectada por el tipo de CC evaluado y por el año. Los CC que produjeron más MS fueron arveja, avena y triticale (cuadro 6). El año de mayor producción de MS fue 2008, siendo un 32% superior que el promedio de los otros años (2007, 2009 y 2010). El único CC gramínea que tuvo bajos valores de MS fue el raigrás, la bibliografía es concluyente sobre el hecho de que esta especie produce altas cantidades de biomasa al final del ciclo (primavera), por lo que la aplicación de herbicida a fines de setiembre no le permitió manifestar su alto potencial de producción de MS.

En los años 2007 y 2009 no hubo diferencias significativas en cuanto a agua disponible en el suelo (en los primeros 60 cm) entre los CC (cuadro 7). Estos dos años presentaron primaveras muy lluviosas (2007) o muy secas (2009) y se llegó a la siembra del cultivo de maíz con un buen nivel de agua acumulada o no. En los años donde sí hubo diferencias significativas (2008 y 2010), las precipitaciones fueron similares a la media de la estación (unos 100 mm por mes). Esto hace pensar que es posible encontrar, en la mitad de los años, un efecto negativo de los CC sobre las condiciones físicas y químicas del suelo a la siembra (agua y N).

Cuadro 6. Producción de materia seca ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de los cultivos de cobertura evaluados para los primeros cuatro años en el ensayo de coberturas para el cultivo de maíz en la EEMAC (2007-2010).

Tratamiento	2007	2008	2009	2010	Media
Barbecho limpio	0,12	0,17	0,16	0,16	0,15
Avena	3,86	6,98	4,62	2,18	4,41
Triticale	3,30	4,57	4,94	2,09	3,72
Raigrás	3,06	3,85	1,92	1,81	2,66
T. alejandrino	2,66	2,79	1,49	2,82	2,44
Arveja	—	—	4,70	7,38	6,04
Media	2,60	3,67	2,97	2,73	—
MDS _{0,10} (CC)					0,65
MDS _{0,10} (CC × año)	0,53	0,83	0,98	0,76	

MDS: Mínima diferencia significativa.

Cuadro 7. Agua disponible en los primeros 60 cm del suelo (mm) a la siembra del maíz según cultivo de cobertura evaluado para los primeros cuatro años en el experimento de coberturas en la EEMAC (2010-2010).

Cultivos cobertura	2007	2008	2009	2010	Media
Barbecho limpio	70	57	13	59	50
Avena	66	33	19	38	39
Triticale	51	27	25	41	36
Raigrás	74	20	14	39	37
T. alejandrino	58	29	10	20	29
Arveja	—	—	8	42	25
Media	64	33	15	40	
MDS _{0,10} (CC)					14
MDS _{0,10} (CC × año)	ns	11	ns	13	

MDS: mínima diferencia significativa.

No se encontraron diferencias en el COS luego de 8 años de iniciado el experimento (cuadro 8). Analizando las entradas de C al sistema, las producciones mayores de materia seca de maíz se observaron en los tratamientos sin cultivo de cobertura o con la utilización de la arveja ($89,9$ y $91,6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Además, hubo un efecto positivo del agregado de N a V6 en el maíz, especialmente en los CC gramíneas (avena, raigrás y triticale), resultando en un incremento de producción de 50%. Si bien este efecto fue marcado en todos los tratamientos, en el barbecho limpio fue

donde se registró el menor incremento (24%).

La productividad de los CC fue alta, siendo los más productivos arveja, avena y triticale. Sumando todas las entradas de C, el tratamiento con la utilización de la arveja, presenta los mayores valores, siendo el barbecho limpio (sin CC) y alguna CC gramínea sin N la de menor valor. La pregunta que nos hacemos es ¿por qué en el tratamiento de arveja donde estimamos valores como entrada de C vía materia seca del entorno de $140 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en estos últimos ocho años, este gran volumen de bio-

Cuadro 8. Carbono orgánico del suelo (g.kg^{-1}) (0-20 cm profundidad) medido en mayo 2015 y producción estimada de biomasa aérea y radicular para el maíz y los diferentes CC (Mg.ha^{-1}) EEMAC, Paysandú (2007-2014).

CC	N	COS	Residuos maíz BA	Residuos maíz BR	Residuos CC BA	Residuos CC BR	Residuos totales
Barbecho	sin	16,5	63,8	8,5	0,0	0,0	72,3
Limpio	con	16,5	79,3	10,6	0,0	0,0	89,9
	sin	15,7	42,8	5,7	33,5	4,5	86,5
Avena	con	17,5	60,4	8,1	33,5	4,5	106,4
	sin	15,3	39,9	5,3	29,8	4,0	79,0
Triticale	con	16,5	58,2	7,8	29,8	4,0	99,7
	sin	15,7	42,8	5,7	20,8	2,8	72,1
Raigrás	con	18,4	66,8	8,9	20,8	2,8	99,3
	sin	17,1	55,1	7,3	20,0	9,1	91,5
T. alejandrino	con	15,8	71,8	9,6	20,0	9,1	110,5
	sin	16,5	61,6	8,2	33,6	15,3	118,7
Arveja	con	16,5	80,8	10,8	33,6	15,3	140,4
MDS _{0,10}		ns	7,9	1,3	5,6	4,2	14,2

Referencias: CC cultivo cobertura; COS carbono orgánico del suelo; BA biomasa aérea; BR biomasa radicular. MDS: Mínima diferencia significativa.

masa no se ve reflejado en un aumento del COS? Una posible respuesta es que la biomasa producida en este sistema tiene un balance de C/N por debajo de 10, por lo que se puede pensar que es rápidamente mineralizado. Por el contrario, la biomasa producida por los CC gramíneas, tienen una relación C/N mayor a 10, y esto puede generar una MO más estable en el suelo en el mediano plazo.

El rendimiento de maíz en los primeros 4 años (2007-2010) mostró respuesta al agregado de N en V6 y a la presencia de CC, pero se encontró interacción entre CC y N (figura 7). Se encontró respuesta al agregado de N en el cultivo de maíz para todos los cultivos de cobertura evaluados, excepto para el caso de barbecho limpio (BI), donde este incremento no fue significativo. Como era de esperar, las respuestas mayores al agregado de N en V6 del maíz se lograron con CC gramíneas (avena, raigrás y triticale), que fueron

en promedio de 32%. En cambio el maíz sembrado sobre los CC leguminosas (T. alejandrino y arveja) tuvieron un impacto de 25%. Estas mayores respuestas al agregado de N en los CC gramíneas no llegaron a igualar los rendimientos logrados con los CC leguminosas y/o barbecho limpio. Sin la aplicación de N en el maíz, con el tratamiento sin CC (BI), se obtuvieron los mejores rendimientos, se puede inferir que los CC afectaron la disponibilidad de N en el corto plazo y que el potencial del suelo para liberar N no tendría limitaciones al venir de una chacra de alto potencial agrícola y de una pradera larga (más de 8 años; sin presencia de leguminosas).

En los últimos cuatro años del experimento (2011-2014; figura 8), las respuestas al agregado de N son aún más importantes que en el período anterior. Pero a diferencia de lo ocurrido en el período 2007-2010, no se encontró interacción entre CC y respuesta al agre-

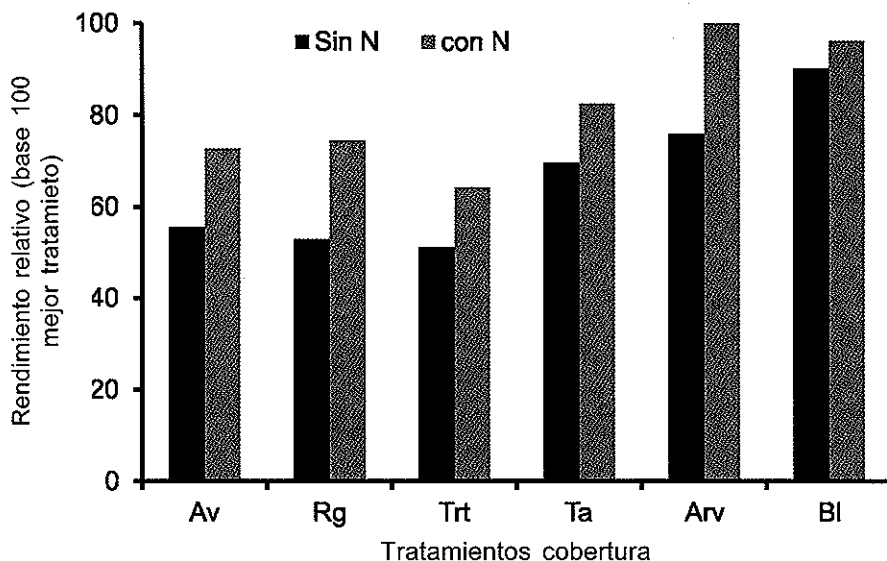


Figura 7. Rendimiento relativo del cultivo de maíz según CC utilizado, con o sin agregado de N a V6 ($50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) en los primeros 4 años de evaluación en el ensayo en la EEMAC (2007-2010). Referencias: Av: Avena, Rg: raigrás, Trt: Triticale, Ta: Trébol alejandrino, Arv: arveja, BI: barbecho limpio.

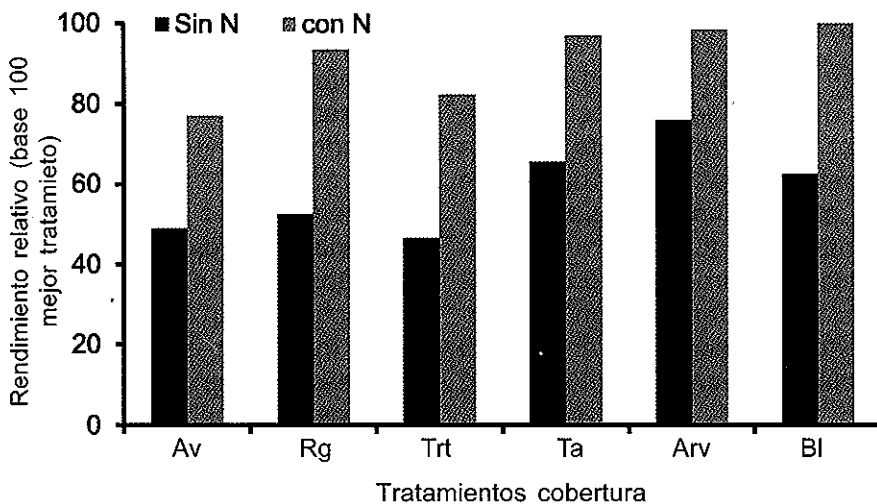


Figura 8. Rendimiento relativo del cultivo de maíz según CC utilizado, con o sin agregado de N a V6 ($50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) en los últimos 4 años de evaluación en el ensayo en la EEMAC (2011-2014). Referencias: Av: Avena, Rg: raigrás, Trt: Triticale, Ta: Trébol alejandrino, Arv: arveja, BI: barbecho limpio.

gado de N. Esto se debió a que en el tratamiento sin cultivo de cobertura (BI) hubo respuesta al agregado de N, siendo esta de 60%. Igualmente, los mayores impactos de aplicación de N en el maíz se dieron sobre los CC gramíneas (aumentaron un 71% con respecto a la

no aplicación de N). En cambio en los maíces sembrados sobre los CC leguminosas, este aumento fue de 39%. Comparando estos dos períodos, la respuesta al agregado de N en 2007-2010 fue en promedio de 25%, pero en este último período fue de casi 60%. Este

fuerte incremento de respuesta está indicando que luego de realizados 8 cultivos continuos con o sin CC en el invierno, el N del suelo se fue agotando lentamente, y más en situaciones donde no existe la posibilidad de la fijación biológica. Si bien en este experimento se realizaron CC leguminosas, estas por sí solas no parecen ser suficientes para mantener los niveles de N en el suelo, ya que también se vio un salto en la respuesta del maíz al agregado de N, de 25 a 39% (comparando 2007-2010 contra 2011-2014). Si bien el muestreo de suelo para N total fue realizado, al día de la fecha no se tiene todavía los resultados para confirmar lo anteriormente dicho (caída de N total luego de 8 años de agricultura continua).

Es decir, para los CC leguminosas anuales resulta claro que hay una asincronía entre la oferta y la demanda de N por el cultivo y en todo caso el input de N para el sistema no es suficiente para mantener este nutriente en el sistema.

Experimento cultivos de cobertura gramíneas en secuencia soja-soja (INIA La Estanzuela)

Este experimento comenzó en 2003 en INIA La Estanzuela, introduciendo CC invernales en una secuencia de soja continua. Se evaluaron tres tratamien-

tos de CC: raigrás anual (*L. multiflorum*), avena (*A. sativa*) y un tratamiento sin cultivo de cobertura (testigo limpio) y dos fechas de supresión: 30 días antes de la siembra (barbecho tardío) y 60 días antes de la siembra (barbecho temprano). Los detalles de este experimento han sido publicados previamente (Sawchik et al., 2012). A los efectos de este artículo seleccionaremos algunos datos que hacen énfasis en los impactos de la inclusión o no de CC en propiedades del suelo. Así en el cuadro 9 se presenta la información resumen de productividad de los CC para los diferentes tratamientos.

La producción de biomasa de avena fue mayor que la de raigrás ($p \leq 0,05$) en todas las estaciones de crecimiento analizadas. Las tasas de crecimiento de avena son mayores durante el otoño y temprano en el invierno mientras que el raigrás aumenta su tasa de crecimiento durante el invierno. Por su parte, la concentración de N en la planta fue siempre mayor en raigrás que en avena resultando en un residuo de más baja relación C: N (datos no presentados). Los impactos en las propiedades del suelo se han medido periódicamente y los resultados del muestreo realizados en el año 2012 se presentan en el cuadro 10.

La inclusión de CC invernales determinó una mayor concentración de COS y NT que el tratamiento testigo a la pro-

Cuadro 9. Producción de biomasa total aérea acumulada en siete estaciones de crecimiento (2004-2011) ($Mg \cdot ha^{-1}$) en los diferentes tratamientos de cultivos de cobertura para el período 2004-2011. INIA La Estanzuela.

Cultivo de cobertura	Fecha de supresión	Mínimo	Máximo	Media	Total
Avena	Temprano	2,3	5,4	3,6	25,2
	Tardío	6,2	14,2	8,9	62,2
Raigrás anual	Temprano	1,2	5,7	2,8	19,8
	Tardío	5,4	12,1	7,5	39,3

Cuadro 10. Valores medios de variables de suelo a dos profundidades (0-7,5 y 7,5-15 cm) en diferentes tratamientos de cultivos de cobertura INIA La Estanzuela 2012.

Cultivo de cobertura	COS (g.kg ⁻¹)		NT (g.kg ⁻¹)		PMN (Mg.kg ⁻¹)	
	0-7,5 cm	7,5-15 cm	0-7,5 cm	7,5-15 cm	0-7,5 cm	7,5-15 cm
Avena	34,6a	20,7a	3,07a	1,91a	80a	19a
Raigrás	34,0a	20,7a	2,93a	2,03a	69ab	17a
Testigo	29,2b	19,7a	2,63b	1,90a	40b	11b

Números seguidos por la misma letra dentro de columnas son significativamente diferentes a $p \leq 0,05$ por el test de la mínima diferencia significativa. Referencias: COS: carbono orgánico del suelo; NT: Nitrógeno total; PMN: potencial de mineralización de N.

fundidad de 0-7,5 cm. El tratamiento con avena tuvo a su vez el mayor valor de potencial de mineralización (PMN) en ambas profundidades. De todas formas los valores absolutos de PMN se redujeron frente a muestreos previos. Esto puede deberse a dos factores: a) la alta extracción del cultivo de soja, pues la contribución de N por la FBN es insuficiente para compensar la exportación en el grano (Restovich et al., 2012); b) la aplicación de N a los cultivos de cobertura es insuficiente para revertir el balance negativo de N en la secuencia.

Por otro lado, el incremento en el COS del suelo puede haber influido en la mejora de ciertas propiedades físicas. La densidad aparente fue medida varias veces en este experimento y se pre-

sentan solamente los resultados del año 2012 (cuadro 11). Los tratamientos no tuvieron impacto en esta propiedad para ninguna de las profundidades evaluadas. Estudios previos en experimentos de mediana duración han mostrado efectos limitados de los CC en esta variable (Blanco-Caqui et al., 2011). Los CC tuvieron un efecto positivo en la generación de macroporos solamente en superficie (0-7,5 cm). Las tasas de infiltración en flujo saturado exhibieron una alta variabilidad, sin embargo, existió una clara tendencia a mayores tasas de infiltración ($p \leq 0,10$) bajo los tratamientos de CC en comparación con el testigo. Esto indicaría beneficios positivos en otras propiedades (porosidad, agregación del suelo) que afectan la dinámica de agua en el sistema.

Cuadro 11. Valores medios de propiedades físicas del suelo en distintos tratamientos de cultivos de cobertura evaluados en 2012 INIA La Estanzuela.

Cultivo de cobertura	Dap (g.cm ⁻³)		Macroporos (%)	Tasa de infiltración (mm.h ⁻¹)
	0-7,5 cm	7,5-15 cm	0-7-5 cm	
Avena	1,00a	1,28a	14,5a	9,6a
Raigrás	0,99a	1,25a	13,8a	8,3a
Testigo	1,06a	1,28a	11,1b	1,5b

Medias seguidas por la misma letra dentro de columnas son significativamente diferentes a $p \leq 0,05$ por el test de la mínima diferencia significativa. Dap: densidad aparente del suelo.

CONCLUSIONES GENERALES SOBRE EL USO DE CULTIVOS DE COBERTURA

- En términos generales, las gramíneas, y en especial la avena, poseen tasas de crecimiento iniciales más altas que las demás especies por lo que logran con mayor rapidez un importante efecto de cobertura del suelo.
- Es también importante el crecimiento inicial de los cultivares de *Raphanus*. Además esta especie cumple otras funciones (mayor partición a raíces) beneficiosas para el sistema.
- Las leguminosas anuales poseen una tasa de crecimiento más lenta desde el punto de vista de la cobertura del suelo, pero ingresan una importante cantidad de N al sistema.
- En general, y bajo nuestras condiciones, con fechas de supresión mayores a 20-25 días los CC no tienen impacto significativo en la disponibilidad de agua para el cultivo de renta siguiente.
- En general, con un buen manejo del CC, no se observan disminuciones en el rendimiento de los cultivos de renta.
- La inclusión de CC en los sistemas pueden incrementar el contenido de C de los suelos, en especial en superficie, pero esta práctica debe ser acompañada de un diseño integral del sistema agrícola o agrícola ganadero, esto, a su vez, puede afectar positivamente algunas propiedades hídricas que gobiernan la dinámica de agua en el suelo.

- Los CC pueden ser una parte del sistema agrícola, mitigando algunos de los problemas actuales, pero es necesario combinarlos en una secuencia que incorpore otro tipo de cultivos y/o pasturas.

¿QUÉ SUCEDE CON LAS PASTURAS CORTAS?

La inclusión de pasturas cortas (14-18 meses) en sistemas agrícolas o agrícola-ganaderos parece ser una alternativa para mejorar la sustentabilidad de los sistemas. En este sentido, la inclusión de leguminosas puras o mezclas cortas de gramíneas y leguminosas de alta producción brinda a priori las ventajas ya observadas en rotaciones de cultivos y pasturas. Aunque la inclusión de este tipo de pasturas debe definirse en un marco de mayor integración agricultura-ganadería, desde el punto de vista biológico es conocido el efecto beneficioso de introducir pasturas de corta duración en sistemas agrícolas. Así, la información obtenida en experimentos de largo plazo realizados en el país muestran la ventaja de incluir pasturas cortas de trébol rojo (18 meses) en rotaciones de cultivos (Morón y Sawchik, 2002). En este caso, con rotaciones agrícolas y pasturas cortas (67:33) se han logrado stocks de C y N similares a rotaciones equivalentes en tiempo de cultivos y pasturas (50:50). En este sentido, el concepto clave es cuándo o con qué frecuencia es necesario colocar ese tipo de pastura dentro del sistema agrícola actual, si logramos bajar en algo las necesidades crecientes de N en los cultivos de trigo subsiguientes, y, sobre todo, de qué manera se aprovecha el forraje extra generado en la nueva rotación o secuencia.

BIBLIOGRAFÍA

- BARRIOS E, AYALA W, MACEDO I, TERRA J.** 2015. ¿Qué opciones de cultivos de cobertura se disponen para integrar a los esquemas agrícolas en la Región Este? INIA Serie Actividades de difusión, 748: 13-16.
- BLANCO-CAQUI H, MIKHA MM, PRESLEY DR, CLAASEN MM.** 2011. Addition of cover crops enhances no-till potential for improving soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 75:1471-1482.
- CAVIGLIA O, NOVELLI L, GREGORITO VC, VAN POSTAL NV, MELCHIORI R.** 2010. Cultivos de cobertura como alternativa de intensificación sustentable en el centro-oeste de Entre Ríos. En: Estación Experimental Agropecuaria Paraná del INTA [Ed] Actualización técnica. *Agricultura Sustentable*, 13-24.
- CORAK SJ, FRYE WW, SMITH MS.** 1991. Legume and nitrogen fertilizer effects on soil water and corn production. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 1395-1400.
- DIEA-MGAP.** 2014. Anuario estadístico agropecuario. [En línea]. Consultado 10 setiembre 2015. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/Diea/anterior/Anuario2014/Diea-Anuario%202014-Digital01.pdf>
- ERNST O.** 2004. Leguminosas como cultivo de cobertura. En: *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 21. 9p.
- ERNST O, SIRI-PRIETO G.** 2009. Impact of perennial pasture and tillage systems on carbon input and soil quality indicators. *Soil and Tillage Research*, 105: 260-268.
- KASPARTC, SINGER JW.** 2011. The use of cover crops to manage soil. En: Hatfield JL, Sauer TJ [Eds.]. *Soil Management: building a stable base for agriculture*. American Society of Agronomy: 321-337.
- MGAP.** 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. [En línea]. Consultado 10 setiembre 2015. Disponible en: <http://cebra.com.uy/renare/media/Carta-de-reconocimiento-de-Suelos-del-Uruguay-1.1.000.000-imprimir-A0.pdf>
- MORÓN A, SAWCHIK J.** 2002. Soil quality indicators in a long-term crop pasture rotation experiment in Uruguay. In: 17th World Congress of Soil Science, Symposium No. 32, Paper 1327. CD-ROM.
- RESTOVICH SB, ANDRIULO AE, PORTELA S.** 2012. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Research*, 128: 62-70.
- SASAL MC, ANDRIULO, A.** 2005. Cambios en la porosidad edáfica bajo siembra directa por la introducción de *Raphanus Sativus* L. (Nabo forrajero). *RIA*, 34:31-50.
- SASAL MC, ANDRIULO A, TABOADA M.** 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinean pampas. *Soil Tillage Research*, 87:9-18.
- SAWCHIK J, PÉREZ BIDEGAIN M, GARCÍA C.** 2012. Impact of winter cover crops on soil properties under soybean cropping systems. *Agrociencia*, 16 (nº especial): 288-293.
- TERRA J, AYALA W, CANTOU G, BARRIOS E, CARDOZO G.** 2013. Cultivos de cobertura en esquemas agrícolas: resultados preliminares. Serie actividades de difusión, 713. cap.9. 4p.