

## EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA OTOÑO INVERNALES, SOBRE EL RENDIMIENTO Y ACUMULACIÓN DE N EN MAÍZ EN EL SUDOESTE BONAERENSE

EDUARDO DE SÁ PEREIRA\*<sup>1</sup>; JUAN ALBERTO GALANTINI<sup>2</sup>; ALBERTO RAÚL QUIROGA<sup>3</sup>  
& MARÍA ROSA LANDRISCINI<sup>4</sup>

Recibido: 27-04-14

Recibido con revisiones: 04-10-14

Aceptado: 13-10-14

### RESUMEN

La utilización de cultivos de cobertura (CC) tiene efecto sobre la acumulación de N y rendimiento de los cultivos sucesores. El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción, los componentes del rendimiento y acumulación de N del cultivo de maíz utilizando, como antecesores del mismo, diferentes CC y evaluando la respuesta a la fertilización nitrogenada. Se realizaron cinco ensayos sobre Argiudoles típicos del partido de Coronel Suárez. Las especies utilizadas como CC fueron: Avena (*Avena sativa*), Vicia (*Vicia sativa*) y un testigo (barbecho químico). El diseño experimental fue en parcelas divididas en bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos en las parcelas principales fueron los CC y en las subparcelas, distintas dosis de fertilizantes aplicado al estado de V4-V6. Los CC influenciaron sobre diferentes componentes del rendimiento de maíz. Los efectos de la vicia como antecesor y la fertilización nitrogenada a dosis variable aumentaron la eficiencia de absorción de nitrógeno. La mayor absorción de N no siempre se tradujo en un aumento en los rendimientos, probablemente en función de las características climáticas de cada año en estudio. Existe una tendencia de mayor rendimiento de maíz sobre antecesor vicia. El uso de N-fertilizante redujo la recuperación de N-vicia en el segundo año y la aumentó en el primero y tercer año. El efecto de fertilización fue variable entre antecesores con baja respuesta al N cuando el antecesor fue vicia, variable cuando fue barbecho y significativa cuando fue avena.

**Palabras clave.** Maíz, avena, vicia, cultivos de cobertura, rendimiento y nitrógeno.

### AUTUMN-WINTER COVER CROP EFFECTS ON YIELD AND CORN N ACCUMULATION IN SOUTHWESTERN BUENOS AIRES

#### ABSTRACT

Cover crops (CC) have an effect on nitrogen (N) accumulation and on successive crop yields. The aim of this study was to evaluate yields, yield components and N accumulation of maize using as previous crops different CC and evaluating the response to N fertilization. Five experiments were conducted on a Typic Argiudoll (USDA Soil Taxonomy) of Coronel Suárez. The species used as CC were: Oats (*Avena sativa*), Hairy vetch (*Vicia sativa*) and control (chemical fallow). The experimental design consisted of split-plots in three randomized complete blocks, with main plots corresponding to the cover crops treatment and subplots to the fertilizer treatment (N applied at the V4-V6 corn stage). The treatments in the main plots were the CC. The effects of CC varied according to the corn yield component. Hairy vetch and N fertilization at different rates increased the N absorption efficiency. A greater N absorption was not always related to increases in corn yields, probably due to the climatic variability among years. There was a tendency for greater corn yields with hairy vetch as a preceding cover crop. N application reduced hairy vetch N recovery during the second year and increased N recovery during the first and third year. Fertilizer application effects varied among previous crops with a low response to N when the previous crop was hairy vetch, a variable response when in fallow and a significant response when the previous crop was oats.

**Key words.** Cover crops, corn, hairy vetch, clover, oats, yield, nitrogen.

<sup>1</sup> INTA AER Coronel Suárez-EEA Bordenave, San Martín 661, (7540) Coronel Suárez, Argentina;

<sup>2</sup> CIC, CERZOS (UNS-CONICET); <sup>3</sup> INTA EEA Anguil; <sup>4</sup> CONICET CERZOS (UNS-CONICET);

\*Autor de contacto: [desapereira.eduardo@inta.gob.ar](mailto:desapereira.eduardo@inta.gob.ar)

## INTRODUCCIÓN

En la última década, el sistema de siembra directa (SD) presentó una fuerte expansión en la pampa húmeda argentina. Junto con ello, se ha despertado el interés por la inclusión de cultivos de cobertura (CC) en planteos agrícolas con alta frecuencia de cultivos de verano en la rotación. Especies como la vicia y los tréboles que tienen la capacidad de fijar el N<sub>2</sub> atmosférico y reciclar el N disponible del suelo han sido especialmente consideradas como antecesores de maíz. Bonjanich *et al.* (2010) comprobaron que el cultivo de maíz sembrado sobre antecesor vicia presentó mayores rendimientos con respecto a un maíz sembrado sobre rastrojo, reduciéndose de esta manera los requerimientos de fertilizantes nitrogenados. Similares resultados fueron obtenidos por Baigorria & Cazorla (2009), quienes sobre un suelo Argiudol típico comprobaron que con antecesor vicia la producción de maíz se incrementó en un 20% respecto del tratamiento testigo (barbecho sin CC). En el mismo sentido, resultados obtenidos en el sur de Brasil y EEUU indican que la vicia, por su capacidad de fijación biológica y elevada tasa de descomposición de residuos, es capaz de proporcionar cantidades significativas de N al maíz en sucesión, proporcionando en algunos casos un incremento en la producción de granos equivalente al uso de fertilizantes nitrogenados (Aita *et al.*, 1994, 2001; Heinrichs *et al.*, 2001; Miguenz & Bollero, 2005; Baigorria & Cazorla, 2009). Complementariamente, estudios realizados en un amplio rango de condiciones edafoclimáticas muestran escasa o nula respuesta a la fertilización del maíz cuando es establecido sobre antecesor vicia (Calegari *et al.*, 1993; Das Ros & Aita 1996; Bortolini *et al.*, 2000; Aita & Giacomini 2003).

Esta sustitución de fertilizantes también es muy importante desde el punto de vista ambiental, contribuyendo a la sustentabilidad de los sistemas de producción (Da Silva, 2004, 2007). El N mantenido en la forma orgánica es, respecto del aportado por fertilizantes, menos propenso a pérdidas por lixiviación, volatilización o desnitrificación, ya que es puesto a disposición lentamente, de acuerdo con la mineralización de los residuos vegetales.

En el caso de las gramíneas, como la avena, el menor contenido de N en la biomasa aérea (mayor relación C/N) da lugar a una liberación más lenta que puede afectar la disponibilidad de N y producción de maíz (Aita *et al.*, 2001).

A partir de revisiones bibliográficas realizadas por Smith *et al.* (1987) y Ernst (2004), se comprueba que existen tres tipos de respuestas a la aplicación de N de los cultivos de

cosecha en función de la inclusión o no de CC en la rotación (Hargrove, 1986; Torres & del Pino, 1995). En el primer caso existe una respuesta positiva del cultivo a la fertilización cuando es establecido sobre CC. Normalmente, por la baja disponibilidad de N en el suelo, el rendimiento del cultivo sin fertilizar establecido sobre CC es menor que el testigo sin CC. En el segundo caso la respuesta al agregado de N también es positiva pero el rendimiento es superior al testigo, comprobándose un beneficio adicional del CC (Touchton *et al.*, 1984; Calegari & Peñalva, 1994). Otra posibilidad de respuesta es cuando, en condiciones no limitantes de N, el rendimiento sobre CC es menor que el testigo sin CC (Magie *et al.*, 1967; Brown *et al.*, 1985).

En base a los antecedentes expuestos, el objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de distintos cultivos de cobertura y dosis de N sobre la producción de maíz y sus componentes de rendimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Características de los sitios experimentales

Las experiencias se realizaron en el área de influencia de Coronel Suárez (37°25'47"S y 61°44'59'O) sobre Argiudoles típicos de la serie Cascada con secuencia de horizontes Ap-Ba-Bt-BC-C (Soil Survey Staff, 2010) de textura franco-arcillosa-limosa (69,3% limo+arcilla).

### Cultivos de cobertura

Las especies utilizadas como CC fueron: Avena (*Avena sativa* L), Vicia (*Vicia sativa* L), un testigo (Barbecho químico). Todos los ensayos se sembraron bajo el sistema de SD sobre rastrojo de trigo del año anterior. La densidad de siembra fue de 40 kg ha<sup>-1</sup> para vicia y 100 kg ha<sup>-1</sup> de avena. Los tratamientos fueron dispuestos en bloques al azar con tres repeticiones y en parcelas de 150 m<sup>2</sup>. Los ensayos se establecieron sobre antecesor trigo en cinco sitios del partido de Coronel Suárez (Tabla 1).

La supresión del crecimiento se realizó con rolo "cuchillo" y herbicida glifosato + 2,4D a una dosis de (4 L ha<sup>-1</sup> + 500 cc ha<sup>-1</sup>). En 2007 se realizó un solo corte al final del ciclo de los CC, dado que durante la primer etapa se sucedieron 90 heladas que limitaron el crecimiento de los mismos.

### Cultivo de Maíz

Con posterioridad al secado de los CC (20/10/05; 27/10/06; 29/10/07; 30 y 31/11/07) se procedió a realizar la siembra de maíz utilizando sembradora VHB con doble disco y disco barre rastrojo. La distancia entre surcos fue de 0,7 m, obteniéndose una población final de 67.000 plantas ha<sup>-1</sup> promedio de

Tabla 1. Características de los sitios de ensayo.

Table 1. Crop cover duration and yield for two cuts, for each site and year.

Sitios	Campaña	Ciclo CC (días)	Materia seca aérea	
			Corte 1	Corte 2
E1: La Emilia	2005	252	152	241
E2: Paraje G8	2006	239	122	226
E3: La Uruguaya	2007	237	Sd	227
E4: El Hinojo	2007	237	Sd	227
E5: Cura Malal	2007	237	Sd	227

los tres años. En todos los sitios se aplicaron 10 kg/ha de P, utilizando como fuente Superfosfato triple de calcio.

En los sitios ( $E_2$  a  $E_5$ ) se sembró el híbrido LT 619 RR2 mientras que en  $E_1$  se utilizó AX 882. Las fechas de siembra fueron: ( $E_1$ ) 27/10/05, ( $E_2$ ) 23/10/06, ( $E_3$ ) 05/11/07, ( $E_4$ ) 10/11/07, ( $E_5$ ) 09/11/07. En sub-parcelas (5 x 6 m) se aplicaron al voleo (entre V4 y V6) dosis crecientes de nitrógeno (0, 40, 80, 120 y 160 kg ha<sup>-1</sup>) en las campañas 2005 y 2006 ( $E_1$  y  $E_2$ ). En 2007 se utilizó una única dosis de N (80N) entre V4 y V6. Como fuente de N se utilizó urea (46%).

En los muestreos realizados a cosecha se determinaron los rendimientos de materia seca (MS) y de grano, los parámetros de rendimiento, número de plantas, peso de 1000 granos, número de granos e índice de cosecha (IC) (kg de grano producido/kg de materia seca total aérea) e índice de cosecha de nitrógeno (ICN). Se corrigió el peso de los granos a una humedad de cosecha de 14,5%. La producción de granos de maíz fue evaluada cosechando los dos surcos centrales de cada parcela de 2 m de largo. A cosecha en las campañas 2005 y 2006 se determinaron los contenidos de N en planta y grano. En la campaña 2007 se determinó el contenido de N total en los estados fenológicos de R3 (grano lechoso), R5 (grano dentado) y cosecha en los tres sitios de ensayos. Las determinaciones en esta campaña fueron realizadas en hoja, tallo, espiga y grano por separado.

#### Análisis estadístico

El análisis estadístico está planteado por ensayos. El diseño experimental fue de parcelas divididas en bloques completos al azar, con tres repeticiones. Los tratamientos quedaron definidos como combinaciones de niveles de un primer factor (antecesores) en parcelas principales y niveles de un segundo factor (fertilización) en sub-parcelas. Con el objeto de evaluar globalmente los factores cultivos de cobertura y fertilización y sus efectos sobre los parámetros de rendimiento y componentes de rendimiento del maíz, se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) para el diseño en parcela dividida. Cuando

se detectó interacción significativa (nivel de significancia < 5%) se compararon las medias de las combinaciones de ambos factores, caso contrario, se compararon los promedios marginales de cada factor por separado. En todos los casos, las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de diferencia media significativa de Fisher (DMS) con  $p < 0,05$ . El procesamiento se realizó mediante el software InfoStat Profesional<sup>R</sup> (Di Rienzo *et al.*, 2008).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Efecto del antecesor y la fertilización en el maíz

Los resultados del análisis estadístico, incluyendo los tres factores, antecesor, fertilización y ensayo, no presentaron interacción significativa para las variables relacionadas con el rendimiento y sus parámetros (Tabla 2). Sin embargo, se encontraron interacciones significativas entre pares de factores. La interacción bifactorial entre antecesor \* ensayo fue altamente significativa para el rendimiento en grano y MS total, mientras que las interacciones bifactoriales restantes fueron significativas para rendimiento en grano, en MS total y  $P_{1000}$ . Esto resultó, en parte, como consecuencia de la variabilidad en los diferentes ensayos, los que representan ambientes distintos.

El análisis estadístico puso de manifiesto la variabilidad encontrada entre los diferentes ensayos. Existió un efecto significativo del antecesor y de la fertilización, que fue diferente en los ensayos, influyendo positiva o negativamente en diferentes momentos del ciclo del maíz y reflejándose en el parámetro de rendimiento que se expresa en ese momento. Por este motivo, el análisis de los resultados se realizó por ensayo (con diferencias altamente significativas en la mayoría de las variables analizadas), destacando los efectos encontrados en cada uno de ellos debido al antecesor ( $p$  entre 0,039 a 0,905, según variables) y a la fertilización ( $p$  desde <0,001 a 0,115).

Tabla 2. Valores de la probabilidad de los factores antecesor (Ant), fertilización (Fert) y ensayo (Ens) para los parámetros de rendimiento del maíz bajo SD. Coeficiente de variación (CV %).

Table 2. P values for the previous crop (Ant), fertilization (Fert) and experiment (Ens) for the maize yield parameters under no-tillage. CV%=coefficient of variation.

Factor de Anova	Variables					
	Grano	MS total	Plantas ha <sup>-1</sup>	Granos m <sup>-2</sup>	P <sub>1000</sub>	IC
Antecesor	0,0565	0,1474	0,9047	0,9043	0,0033	0,0389
Fertilización	<0,0001	0,0005	0,1146	0,1360	0,0001	0,0205
Ensayo	0,0005	<0,0001	0,0721	0,0038	0,0001	<0,0001
Fert. x Ant.	0,0023	0,0586	0,4878	0,4016	0,0149	0,0976
Fert. x Ens.	0,0188	0,0132	0,2132	0,1202	0,6108	0,7034
Ant. x Ens.	0,0002	0,0165	0,2243	0,1844	0,1620	0,5814
Ant. x Fert. x Ens.	0,2190	0,3330	0,9871	0,9816	0,1090	0,5670
CV %	15,75	17,09	9,22	9,42	6,87	9,71

### Rendimiento biomasa y grano de maíz

En cuanto a la producción de materia seca (MS) del cultivo de maíz se observó interacción significativa en los E4 y E5 (Tabla 3). Sin la aplicación de N el antecesor vicia se destacó del resto, con diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en relación al antecesor avena y barbecho. Los rendimientos de MS de maíz obtenidos en el E4 y E5 fueron superiores con antecesor vicia en un 65; 10% (E4) y 50% (E5) para el antecesor avena y barbecho, respectivamente. Si se observa los datos de ON en la Tabla 3 para MS, vemos que sólo en dos ensayos (E4 y E5) la vicia se destacó de avena y sólo en uno (E5) la vicia se destacó del testigo. En cuanto a los E1, E2 y E3 no existieron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la producción de MS con antecesor vicia con respecto a los demás antecesores a excepción de la avena en el E3.

Cuando se analizaron los resultados de rendimiento se encontró interacción significativa los E2, E4 y E5 (Tabla 3). En los tratamientos sin aplicación de N, los rendimientos de maíz con antecesor vicia fueron superiores ( $p < 0,05$ ) a los de avena en un 60 a 100% y en un 10 a 50% con respecto al antecesor testigo barbecho. Estos resultados pueden ser atribuibles a diferencias de manejo y ambiente (precipitaciones) en cada uno de los sitios de ensayo. En los tratamientos con la aplicación con 80 kg N no hubo diferencias entre antecesores (Tabla 3). El promedio de rendimiento de los E1 y E3 fue de 8624, 6723 y 6529 para los antecesores vicia, avena y testigo (barbecho) respectivamente (Tabla 3). En términos generales se pudo observar el efecto del antecesor y la fertilización sobre el rendimiento en grano de maíz. La tendencia general fue de un

mayor rendimiento con antecesor vicia, variables con antecesor testigo barbecho y menores con avena, sugiriendo un aporte extra de N realizado por la leguminosa y una inmovilización producida por los residuos de gramíneas, sin embargo, no en todos los casos las diferencias fueron significativas.

Las lluvias durante el ciclo de los CC o barbecho y el maíz en los años estudiados fueron adecuadas para una buena provisión de agua para el cultivo sucesor, aún en los tratamientos con CC con menor periodo de reposición de la humedad que el tratamiento barbecho. En estas condiciones se puso de manifiesto el efecto positivo de la vicia como antecesor (Ernst, 2004). Con resultados similares, Restovich *et al.* (2008) concluyeron que dependiendo de la duración del ciclo y el estado de desarrollo, la vicia fue la especie con mayor concentración de N (hasta 4%) y N absorbido, en promedio 31 kg de N por Mg de materia seca producida. Además la mineralización del N se encuentra facilitada por la baja relación C/N de sus tejidos (Fageria *et al.*, 2005; Restovich *et al.*, 2008).

Por otro lado, cuando se analizaron las parcelas fertilizadas con 80 kg de N, los rendimientos fueron semejantes con todos los antecesores, perdiéndose la diferencia relativa a favor de la vicia y observándose un importante efecto sobre la avena. Teniendo en cuenta que las lluvias durante el ciclo de los CC no limitaron su desarrollo (187, 369, 348, 415, 413 mm para los ensayos E1, E2, E3, E4 y E5, respectivamente), el cultivo de avena pudo inmovilizar una parte importante del N mineralizado, para posteriormente volverlo disponible. (Bortolini *et al.*, 2000; Ruffo & Bollero, 2003; Miguenz & Bollero, 2005; Acosta,

Tabla 3. Evaluación conjunta de los cinco ensayos con CC del rendimiento en grano y materia seca de maíz establecido con distintos antecesores (vicia y avena) y dosis de fertilización (0N y 80N).

Table 3. Corn grain yields for every experiment, preceding cover crop and N rate.

Factores		Grano (kg ha <sup>-1</sup> )				
Antecesor	Fertilización	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
Vicia	0N	8022	9627 a	8277	8282 a	8806 a
Avena	0N	6151	5405 b	4033	4034 b	5487 b
Barbecho	0N	5689	9222 a	4753	7548 a	5594 b
Vicia	80N	8374	9365 a	9823	8117 a	9543 a
Avena	80N	8201	10315 a	8506	8042 a	7786 b
Barbecho	80N	6237	12142 a	9437	8630 a	9347 ab
Vicia	Media	8198 a	9496	9050 a	8200	9174
Avena	Media	7176 ab	7860	6270 b	6038	6637
Barbecho	Media	5963 b	10682	7095 b	8089	7470
Media	0N	6621 a	8085	5688 b	6621	6629
Media	80N	7604 a	10607	9255 a	8263	8892
Ant.		0,037	0,036	0,014	0,013	<0,001
Fert.		0,137	0,007	<0,001	0,013	<0,001
Ant x Fert.		0,490	0,054	0,136	0,028	0,012
		MS total kg ha <sup>-1</sup>				
Vicia	0N	13.880	17.329	12.269	11.440 a	12.607 a
Avena	0N	14.783	11.809	6932	6922 b	8393 b
Barbecho	0N	13.554	16.581	8271	10.421 a	8681 b
Vicia	80N	14.571	17.614	14.448	11.146 a	13.617 a
Avena	80N	14.874	19.349	13.335	10.819 a	11283 a
Barbecho	80N	12.195	21.680	13.918	11.840 a	13.716 a
Vicia	Media	14.226 a	17.471 a	13.358 a	11.293	13.112
Avena	Media	14.829 a	15.579 a	10.133 b	8871	9838
Barbecho	Media	12.875 a	19131 a	11.095 ab	11.130	11.199
Media	0N	14.073 a	15.240 a	9157 b	9594	9894
Media	80N	13.880 a	19.547 a	13.900 a	11.268	12.872
Ant		0,375	0,343	0,033	0,027	0,005
Fert		0,866	0,055	<0,001	0,035	<0,001
Ant x Fert		0,749	0,320	0,161	0,088	0,072

Letras diferentes en un mismo ensayo indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los antecesores (con 0N, 80N o el promedio de ellos) o por la fertilización. Ant. (antecesor), Fert. (fertilización), Ant.xFert. (interacción entre fertilización y antecesor), MS (materia seca).

2009). Esa liberación podría no coincidir con el período de mayor demanda cuantitativa de N del maíz (Heinzmann, 1985; Sá, 1996), donde durante las primeras semanas puede descomponerse solo el 20% (Amado *et al.*, 2002) mientras que el N adicional podría acelerar el proceso (Fernández *et al.*, 2007).

En el E2 y E4, el maíz con el antecesor barbecho rindió igual que con antecesor vicia y menos en el E5, posiblemente debido a la variabilidad dentro de cada ensayo y este antecesor no produjo un efecto diferencial de rendimiento cuando fue comparado con los otros CC. En el E3 el antecesor barbecho rindió menos que el antecesor vicia. En este sentido, otros estudios concluyeron que los CC de invierno mejoran la producción de maíz y la disponibilidad de N del suelo (Torbert *et al.*, 1996; Clark *et al.*, 2007).

El efecto de fertilización fue variable entre antecesores con baja respuesta al N cuando el antecesor fue vicia, variable cuando fue barbecho y significativa cuando fue avena.

El IC de maíz no presentó interacción significativa (antec. x fert.) en ninguno de los ensayos, con diferencia debidas a los antecesores en E1, E2 y E3 y sin diferencias en los E4 y E5 (Tabla 4). En la Tabla 4 se observa que en los ensayos E1 y E3 con antecesor vicia la aplicación de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N aumentó el índice de cosecha. Con respecto a los tratamientos antecesores se observó que en los E1, E2 y E3 la vicia presentó mayor IC que la gramínea y sin diferencias con respecto al barbecho a excepción del E1. Al no observarse diferencia marcada en los IC, esto indicaría que hubo una buena traslocación de fotoasimilados al

grano, por lo tanto las diferencias serían debidas al efecto de clima y manejo en los diferentes años estudiados.

Para la variable cantidad de plantas por hectárea no existió interacción significativa ( $p < 0,05$ ) en ninguno de los 5 sitios. Fue modificada por el antecesor en el E3, mientras que no se registró efecto de la fertilización sobre este componente (Tabla 4).

La cantidad de granos por  $m^2$  fue semejante entre tratamiento en casi todos los ensayos no presentándose interacciones significativas ( $p < 0,05$ ) en ningún de ellos. (Tabla 5). No se encontraron diferencias significativas debida a antecesor y fertilización en todos los ensayos a excepción solo del E3, donde se encontró un significativo

aumento en el número de granos por aplicación de N. En el caso de estos dos últimos antecesores, las diferencias en el número de granos por efecto de la fertilización fueron variable entre las medias de los ensayos, pero relacionado con las lluvias en el período siembra-floración. Nuevamente, esto confirma la buena disponibilidad de agua y de N durante el ciclo del maíz, que permitió un desarrollo semejante del número de plantas y cantidad de granos.

En cuanto al peso de los granos existieron interacciones significativas en dos de los cinco ensayos realizados, la respuesta al antecesor y a la fertilización fue muy variable entre ensayos (Tabla 5). Evidentemente, fue en esta etapa donde los efectos del antecesor y del N ejercieron mayor influencia sobre el cultivo.

Tabla 4. Evaluación conjunta de los cinco ensayos con CC del índice de cosecha (IC) y n° de plantas  $ha^{-1}$  del maíz con distintos antecesores (Vicia y Avena) y dosis de fertilización (ON y 80N).

Table 4. Corn harvest indexes for every experiment, preceding cover crop and N rate.

Factores		Índice de Cosecha				
Antecesor	Fertilización	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
Vicia	ON	0,59	0,59	0,67	0,72	0,70
Avena	ON	0,42	0,46	0,58	0,59	0,66
Barbecho	ON	0,52	0,55	0,57	0,73	0,65
Vicia	80N	0,58	0,58	0,68	0,73	0,70
Avena	80N	0,55	0,54	0,68	0,74	0,69
Barbecho	80N	0,52	0,56	0,64	0,73	0,69
Vicia	Media	0,58 a	0,58 a	0,67 a	0,73 a	0,70 a
Avena	Media	0,49 b	0,50 b	0,61 b	0,67 a	0,68 a
Barbecho	Media	0,47 b	0,56 a	0,62 ab	0,73 a	0,67 a
Media	ON	0,47	0,53 a	0,60 b	0,68 a	0,67 a
Media	80N	0,55 a	0,56 a	0,67 a	0,73 a	0,69 a
Ant		0,035	0,006	0,049	0,284	0,306
Fert		0,032	0,174	0,009	0,163	0,144
Ant x Fert		0,214	0,106	0,162	0,195	0,647
Factores		Plantas $ha^{-1}$				
Vicia	ON	50.050	61.967	72.692	60.775	70.308
Avena	ON	53.625	67.925	72.692	76.267	67.925
Barbecho	ON	58.392	67.925	65.542	69.117	67.925
Vicia	80N	52.433	65.542	77.458	67.925	76.267
Avena	80N	61.967	72.692	70.434	70.908	75.075
Barbecho	80N	58.392	73.883	61.967	70.308	70.308
Vicia	Media	51.242 a	63.754 a	75.075 a	64.350 a	73.288 a
Avena	Media	57.796 a	70.308 a	71.563 a	73.587 a	71.500 a
Barbecho	Media	58.392 a	70.904 a	63.754 b	69.713 a	69.117 a
Media	ON	54.022 a	65.939 a	70.308 a	68.719 a	68.719 a
Media	80N	57.597 a	70.706 a	69.953 a	69.714 a	73.883 a
Ant.		0,071	0,203	0,003	0,139	0,522
Fert.		0,18	0,185	0,871	0,781	0,102
Ant x Fert.		0,405	0,959	0,271	0,377	0,789

Letras diferentes en un mismo ensayo indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los antecesores (con ON, 80N o el promedio de ellos) o por la fertilización. Ant. (antecesor), Fert. (fertilización), Ant. x Fert. (interacción entre fertilización y antecesor).

En dos de los cinco ensayos (E2 y E4), cuando no se fertilizó (0N) los granos de mayor peso se observaron en las medias de los tratamientos con antecesor vicia, en el resto de los ensayos el antecesor vicia presentó el mayor peso de granos como media. Posiblemente, la buena disponibilidad de humedad favoreció la descomposición de sus residuos y consecuentemente el aporte de N al maíz. Algo opuesto se observó sobre antecesor avena, donde el peso de los granos siempre fue más bajo que los obtenidos con antecesor vicia (Argenta *et al.*, 2000; Giacomini, 2001; Ohland *et al.*, 2002, 2005). Otros estudios han puesto en evidencia un modelo particular de descomposición de los residuos de vicia utilizado como CC, donde hay un importante aporte inicial de N (proveniente de la rápida descom-

posición de las materiales menos resistentes como las hojas) y posteriormente una liberación paulatina del material más resistente (Acosta, 2009; Vanzolini, 2011).

La aplicación de N, al igual que lo observado para rendimiento, aumentó el peso de los granos de los antecesores barbecho y avena, llevándolos a valores semejantes a los encontrados con antecesor vicia.

En el caso del contenido de N los resultados del análisis estadístico no mostraron interacción significativa entre los factores antecesor, fertilización y sitio. Las variaciones en la cantidad de N tomada y translocada al grano por el cultivo de maíz con los distintos antecesores y dosis de N pone en evidencia la alta dependencia a las condiciones meteorológicas.

Tabla 5. Evaluación conjunta de los cinco ensayos con CC del número de granos de maíz por m<sup>2</sup> y peso de mil granos de maíz con distintos antecesores (Vicia y Avena ) y dosis de fertilización (0N y 80N).

Table 5. Corn grain number and weight indexes for every experiment, preceding cover crop and N rate.

Factores		Granos m <sup>2</sup>				
Antecesor	Fertilización	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
Vicia	0N	2321	3507	3537	3711	3653
Avena	0N	2483	3845	3189	3478	3421
Barbecho	0N	2483	3845	3479	3479	3305
Vicia	80N	2429	3710	3768	3305	3710
Avena	80N	2645	4114	3769	3479	3827
Barbecho	80N	2699	4182	3711	3247	3421
Vicia	Media	2375 a	3609 a	3653 a	3508 a	3682 a
Avena	Media	2564 a	3980 a	3479 a	3479 a	3624 a
Barbecho	Media	2591 a	4013 a	3595 a	3363 a	3363 a
Media	0N	2429 a	3732 a	3401 b	3556 a	3460 a
Media	80N	2591 a	4002 a	3749 a	3344 a	3653 a
Ant.		0,309	0,203	0,603	0,765	0,302
Fert.		0,199	0,185	0,029	0,234	0,279
Ant x Fert.		0,934	0,960	0,524	0,628	0,680
Factores		Peso Granos (mg)				
Vicia	0N	345	321 a	288	275 a	314
Avena	0N	196	249 c	248	203 b	271
Barbecho	0N	231	277 b	237	277 a	279
Vicia	80N	349	316 a	309	293 a	321
Avena	80N	310	299 a	290	278 a	284
Barbecho	80N	232	316 a	292	290 a	329
Vicia	Media	347 a	318	299 a	284	318 a
Avena	Media	253 b	274	269 b	240	277 b
Barbecho	Media	232 b	296	264 b	283	304 ab
Media	0N	257 a	282	258 b	251	288 a
Media	80N	297 a	310	297 a	287	311 a
Ant.		0,006	<0,001	0,018	<0,001	0,041
Fert.		0,140	<0,001	<0,001	<0,001	0,068
Ant x Fert.		0,153	0,013	0,331	0,011	0,299

Letras diferentes en un mismo ensayo indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los antecesores (con 0N, 80N o el promedio de ellos) o por la fertilización. Ant. (antecesor), Fert. (fertilización), Ant. x Fert. (Interacción entre fertilización y antecesor).

lógicas sobre los procesos involucrados. Sin embargo, se encontraron interacciones significativas entre pares de factores, por lo que el análisis se realiza nuevamente por ensayo y considerando separadamente el efecto del fertilizante y antecesor (Sá Pereira, 2013)

#### Nitrógeno acumulado por el maíz

El N en grano presentó diferencias significativas por efecto del antecesor y de la fertilización en casi todos los ensayos, mientras que el acumulado en la MS presentó diferencias en alguno de ellos (Tabla 6). En términos generales, en las parcelas no fertilizadas, el contenido de N promedio en el grano fue 104, 78 y 59 kg N ha<sup>-1</sup>, para los antecesores vicia, barbecho y avena, respectivamente. La

aplicación de 80 kg de N ha<sup>-1</sup> redujo las diferencias entre los tratamientos, registrándose 131, 121 y 113 kg de N ha<sup>-1</sup> para los antecesores vicia, barbecho y avena, respectivamente.

El N acumulado en la MS no presentó interacciones significativas (antec. x fert.) en ninguno de los ensayos (Tabla 6).

Considerando el promedio de los 5 ensayos, se observó que en las parcelas no fertilizadas el contenido de N en la MS fue 131, 103 y 82 kg N ha<sup>-1</sup>, para los antecesores vicia, barbecho y avena, respectivamente. En forma semejante a lo encontrado al analizar la producción de granos o materia seca total aérea, la aplicación de 80 kg de N ha<sup>-1</sup> tendió a reducir las diferencias entre los tratamientos (167, 161 y 149 kg de N ha<sup>-1</sup> para los antecesores vicia, barbecho y

Tabla 6. Evaluación conjunta de los cinco ensayos con CC del contenido de nitrógeno en el grano y materia seca (kg ha<sup>-1</sup>) con distintos antecesores (Vicia y Avena) y dosis de fertilización (0N y 80N).

Table 6. Corn N content in grain and in dry biomass for every experiment, preceding cover crop and N rate.

Factores		N en grano kg ha <sup>-1</sup>				
Antecesor	Fertilización	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
Vicia	0N	120,3	116,2	92,3	114,0	79,5
Avena	0N	103,8	51,1	38,1	48,1	52,3
Barbecho	0N	85,3	91,7	42,3	104,8	64,5
Vicia	80N	125,6	134,2	137,9	145,1	115,6
Avena	80N	123,0	118,7	102,0	130,1	91,6
Barbecho	80N	93,6	148,6	114,8	140,3	106,7
Vicia	Media	123,0 a	125,2 a	115,1 a	129,5 a	97,5 a
Avena	Media	113,4 ab	84,9 b	70,0 b	89,1 b	71,9 b
Barbecho	Media	89,5 b	120,1 a	78,5 b	122,6 a	85,6 ab
Media	0N	103,1 a	86,3 b	57,5 b	88,9 b	65,4 b
Media	80N	114,1 a	133,8 a	118,2 a	138,5 a	104,6 a
Ant.		0,048	0,021	0,002	0,025	0,010
Fert		0,298	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Ant x Fert		0,838	0,193	0,448	0,158	0,907
Factores		N en MS total kg ha <sup>-1</sup>				
Vicia	0N	151,8	161,2	112,5	130,4	98,8
Avena	0N	147,0	82,5	49,5	63,9	65,5
Barbecho	0N	128,6	129,9	56,5	121,7	76,1
Vicia	80N	159,7	181,8	180,1	170,8	139,9
Avena	80N	159,7	202,8	126,1	148,6	106,1
Barbecho	80N	126,3	239,7	147,0	164,6	127,5
Vicia	Media	155,7 a	171,5 a	146,3 a	150,6 a	119,4 a
Avena	Media	153,4 ab	142,6 a	87,8 b	106,3 b	85,8 b
Barbecho	Media	127,5 b	184,8 a	101,8 b	143,1 a	101,8 b
Media	0N	142,5 a	124,5 b	72,8 b	105,3 b	80,1 b
Media	80N	148,6 a	208,1 a	151,1 a	161,3 a	124,5 a
Ant.		0,074	0,247	0,002	0,023	0,002
Fert		0,556	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Ant x Fert		0,828	0,120	0,695	0,2789	0,724

Letras diferentes en un mismo ensayo indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los antecesores (con 0N, 80N o el promedio de ellos) o por la fertilización. Ant. (antecesor), Fert. (fertilización), Ant.xFert. (interacción entre fertilización y antecesor).

avena, respectivamente). En el caso de N en la MS no hubo interacción significativa (ant. X fert), pero si efecto del antecesor y del fertilizante. Es decir, en ningún caso la acumulación de agua y nutrientes buscada con el barbecho prolongado presentó ventajas en relación a la vicia como CC. Con disponibilidad de agua adecuada a alta, el N extra fijado biológicamente y una liberación gradual a lo largo del ciclo del maíz por la descomposición de esos residuos permitieron mayor consumo por parte del cultivo, (entre 9 y 56 kg de N ha<sup>-1</sup> según los ensayos). Por otro lado el antecesor avena fue semejante al barbecho en 3 de los 5 ensayos. Es decir, un barbecho prolongado no representó mayor disponibilidad de N para el ciclo del cultivo, ya que la mayor disponibilidad se logró a la siembra y en etapas tempranas, donde los requerimientos del maíz son bajos y alta la probabilidad de pérdidas. Los estudios que utilizaron al centeno y vicia como CC previo al maíz (Sullivan *et al.*, 1991; Giacomini *et al.*, 2004) también encontraron resultados semejantes, atribuyéndolo a la cantidad de residuos de centeno (6,5 Mg ha<sup>-1</sup>) con elevada relación C/N (C/N = 59).

El ICN de maíz no presentó interacciones (ant. x fert.) significativas a excepción del ensayo 4 en que los antecesores vicia y barbecho sin fertilizar tuvieron un mayor efecto superior a la avena sin fertilizar. En E1 y E2 con antecesor vicia el maíz presentó valores medios superiores

que con avena y barbecho. Estas diferencias mostraron una mayor eficiencia en el aprovechamiento del N por el cultivo de maíz con antecesor vicia (Tabla 7).

En E1 y E2 se realizaron aplicaciones crecientes de N en el cultivo de maíz a los efectos de obtener las curvas de respuesta del rendimiento y la absorción de N con los distintos antecesores al variar la disponibilidad de N en el suelo (Fig. 1 y 2).

En E1 se observó un punto más alto de rendimiento en el antecesor vicia respecto de los otros dos, poniendo en evidencia el aporte realizado ya desde la implantación del cultivo. Con vicia el rendimiento fue más alto pero la pendiente menor, indicando que la respuesta a la aplicación de N fue menos eficiente.

Solo con el antecesor avena el cultivo de maíz alcanzó su máximo rendimiento (con alrededor de 120 kg N disponible ha<sup>-1</sup>), mientras que con antecesor barbecho o vicia la tendencia fue siempre creciente (Fig. 1 a).

En cuanto a la cantidad de N en grano, se observó una tendencia general semejante, aunque con una más clara separación entre los antecesores barbecho y vicia. Cuando la disponibilidad de N fue baja el antecesor vicia fue mucho más eficiente para acumular N en el grano, mientras que en la medida que la disponibilidad de N aumentó, el barbecho tendió a ser más eficiente (Fig. 1 b).

Tabla 7. Evaluación conjunta de los cinco ensayos con CC del Índice de Cosecha de N (ICN) con distintos antecesores (Vicia y Avena) y dosis de fertilización (0N y 80N).

Table 7. Nitrogen harvest index in five experiments with different cover crops (CC), predecessors (hairy vetch and oats) and N fertilization rate (0N and 80N).

Factores		ICN				
Antecesor	Fertilización	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
Vicia	0N	0,72	0,82	0,79	0,87 a	0,80
Avena	0N	0,62	0,77	0,71	0,75 b	0,80
Barbecho	0N	0,71	0,75	0,66	0,86 a	0,85
Vicia	80N	0,74	0,77	0,79	0,85 a	0,83
Avena	80N	0,60	0,81	0,77	0,88 a	0,86
Barbecho	80N	0,62	0,78	0,74	0,85 a	0,84
Vicia	Media	0,79 a	0,73 a	0,79 a	0,86	0,82 a
Avena	Media	0,73 b	0,61 b	0,79 a	0,81	0,83 a
Barbecho	Media	0,70 b	0,67 ab	0,76 a	0,86	0,84 a
Media	0N	0,72 a	0,69 a	0,79 a	0,83	0,82 a
Media	80N	0,76 b	0,65 a	0,78 a	0,86	0,84 a
Ant.		0,011	0,057	0,371	0,195	0,464
Fert.		0,036	0,427	0,626	0,242	0,163
Ant x Fert.		0,193	0,458	0,208	0,062	0,256

Letras diferentes en un mismo ensayo indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los antecesores (con 0N, 80N o el promedio de ellos) o por la fertilización. Ant. (antecesor), Fert. (fertilización), Ant.xFert. (interacción entre

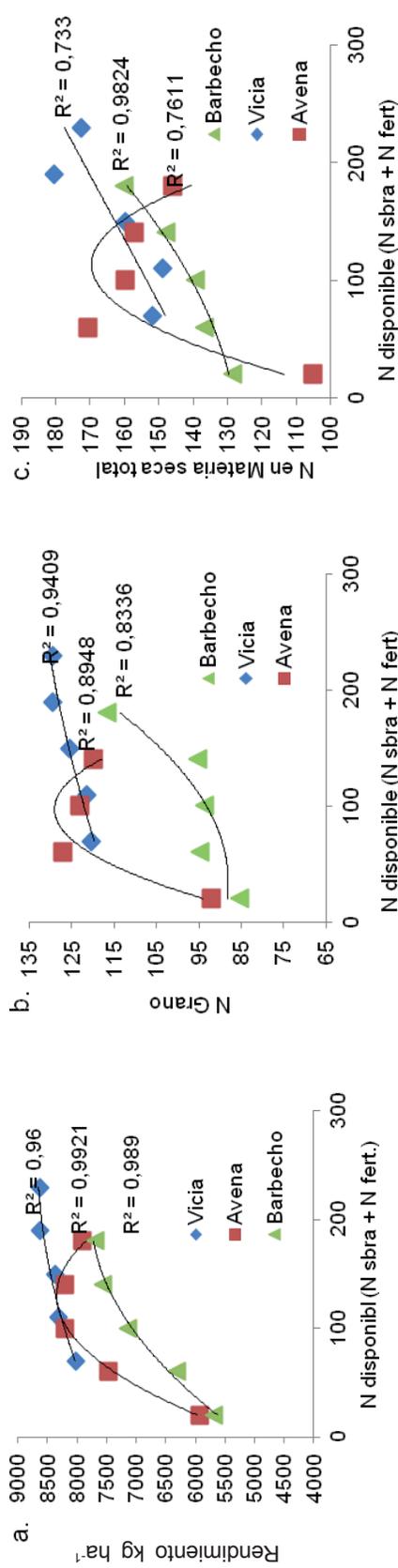


Figura 1. Relación entre la disponibilidad de N (N disponible a la siembra + N del fertilizante, kg ha<sup>-1</sup>)(a), el rendimiento en grano de maíz (kg ha<sup>-1</sup>) y (b) el contenido de N en grano de maíz (kg ha<sup>-1</sup>) y (c.) el contenido de N en la materia seca aérea de maíz (kg ha<sup>-1</sup>) sembrado sobre los antecesores Avena, Vicia y Barbecho en el Ensayo 1.

Figure 1. Relationship between soil N availability (N in soil + fertilizer N, kg ha<sup>-1</sup>) and corn grain yield (kg ha<sup>-1</sup>) (a) and N content in grains (kg ha<sup>-1</sup>) (b) and N in aerial biomass (kg ha<sup>-1</sup>) (c) planted on different predecessors (oats, hairy vetch and fallow) in experiment 1.

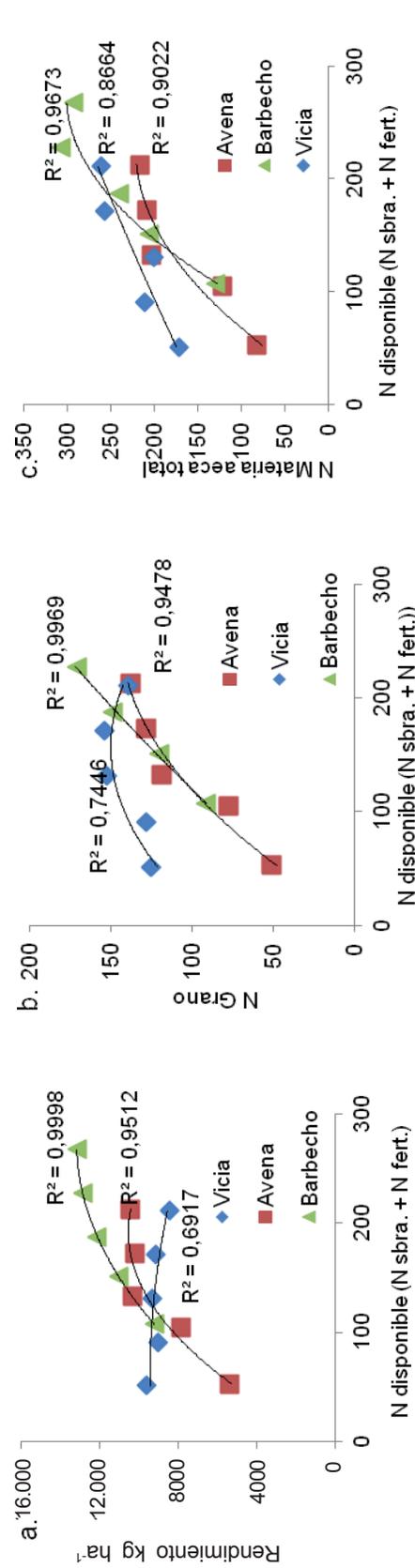


Figura 2. Relación entre la disponibilidad de N (N disponible a la siembra + N del fertilizante, kg ha<sup>-1</sup>) y: (a.) el rendimiento en grano de maíz (kg ha<sup>-1</sup>) y (b.) el contenido de N en grano de maíz (kg ha<sup>-1</sup>) y (c.) el contenido de N en la materia seca aérea de maíz (kg ha<sup>-1</sup>) sembrado sobre los antecesores Avena, Vicia y Barbecho en el Ensayo 2.

Figure 2. Relationship between soil N availability (N in soil + fertilizer N, kg ha<sup>-1</sup>) and corn grain yield (kg ha<sup>-1</sup>) (a) and N content in grains (kg ha<sup>-1</sup>) (b) and N in aerial biomass (kg ha<sup>-1</sup>) (c) planted on different predecessors (oats, hairy vetch and fallow) in experiment 2.

La cantidad de N en la materia seca total aérea del maíz (Fig. 1 c) reflejó el efecto acumulado de cada uno de los antecesores sobre la disponibilidad para el cultivo. En este sentido, las curvas obtenidas con antecesor barbecho y vicia pusieron en evidencia una mayor disponibilidad inicial (posiblemente por el aporte de la descomposición del material lábil de la vicia) y una diferencia a lo largo de los diferentes niveles de N disponible entre 10 y 15 kg ha<sup>-1</sup> (proveniente de la descomposición adicional de los materiales orgánicos del suelo).

En cuanto al antecesor avena (sin aplicación de N), se habría producido una inmovilización importante del N tal como se vio en un ensayo en macetas realizado en forma simultánea (datos no presentados), que fue superada con 50 kg de N ha<sup>-1</sup> con una tendencia decreciente en la medida que la disponibilidad aumentó.

En E2 se observaron algunas diferencias importantes.

El antecesor barbecho tenía mayor disponibilidad de N a la siembra del maíz, esto fue por un mayor desarrollo de ambos CC y un secado muy próximo al momento de la siembra.

La respuesta con el antecesor barbecho y avena fue significativa y creciente, alcanzando valores más altos con el primero de ellos. En cambio con el antecesor vicia, la tendencia de los rendimientos al aumento de la disponibilidad de N fue negativa (Fig. 2 a). Siendo un año con abundantes precipitaciones y una buena disponibilidad en los momentos críticos, llevó a profundizar en el efecto de la disponibilidad de N. En este sentido, no hubo deficiencias en la cantidad de N absorbido en la materia seca total aérea, que a baja disponibilidad de N fue mayor que en el antecesor barbecho, ni hubo problemas en la translocación del N al grano, donde en general fue mayor que en los otros antecesores (Fig. 2 b y c).

Teniendo en cuenta que la disponibilidad de N y de agua para el maíz con el antecesor vicia no fueron limitantes en el E2, las diferencias encontradas podrían estar asociadas a la gran cantidad de material acumulado en superficie, que produjo una emergencia tardía de las plantas de maíz, que podría haber influido para que algunos factores no medidos produjeran una disminución en el rendimiento. En el E2 además de esta diferencia en el desarrollo, las plántulas de maíz sobre el antecesor vicia presentaron cierto amarillamiento, que podría estar sugiriendo cierto efecto alelopático (Magieet al., 1967; Brown et al., 1985; Hickset al., 1989) del material acumulado o de su combinación con la aplicación de herbicida próxima a la siembra de maíz, aspectos de deberían ser objeto de estudio posteriores.

## Conclusiones

Los efectos de la vicia como antecesor y la fertilización nitrogenada a dosis variable aumentaron la eficiencia de absorción de nitrógeno en el cultivo de maíz. Sin embargo, la mayor absorción de nitrógeno no siempre se reflejó en el aumento de la productividad de granos, pudiendo ser considerado un consumo de lujo, probablemente en función de las condiciones de elevada disponibilidad de agua y N presente en los diferentes sitios.

Los componentes del rendimiento, materia seca de la parte aérea y contenido de nitrógeno en granos fueron buenos indicadores de la demanda de N por el cultivo. La respuesta del maíz a los diferentes CC utilizados como antecesores fue variable. La tendencia fue a mayor rendimiento sobre antecesor vicia. El efecto de fertilización fue también variable entre antecesores, con baja respuesta al agregado de N cuando el antecesor fue vicia, variable cuando fue barbecho y significativa cuando fue avena.

## Agradecimientos

Un agradecimiento especial al grupo de Cambio Rural "El Hinojo" de Coronel Suárez por facilitar los lotes para la realización de los ensayos, y a los laboratorios de Forrajes de la EEA Bordenave y al Laboratorio de Suelos, Plantas y Ambiente del CERZOS-Dto. de Agronomía (UNS) donde se realizaron los análisis de planta y suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, JAA. 2009 Dinâmica do nitrogênio sob sistema plantio direto e parâmetros para o manejo da adubação nitrogenada no milho. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. Brasil. 200pp.
- Amado, TJC; J Mielniczuk & C Aita. 2002. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. *R Bras Ci Solo* 26, p. 241-248
- Aita, C; CA Ceretta; AL Thomas; A Pavinato & C Bayer. 1994. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, SP. Brasil v.18, n.1, p.101-108.
- Aita, C; CJ Basso; CA Ceretta; CN Gongçalves & CO Das Ros. 2001 Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. *R. + Bras. Ci. Solo* 25:157-165.
- Aita, C & SJ Giacomini. 2003. Descomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. *R Bras Ci Solo* 2, p. 679-686.
- Argenta, G; PRF Da Silva; CG Bortolini; ML Strieder & EL Forsthofer. 2000. Efeito de sistemas de manejo da ervilhaca comum sobre a cultura do milho semeada em sucessão. *In: Congresso nacional de milho e sorgo*, 23, Resumos. Uberlândia. Brasil. CD 5 pp.

- Bojanich, M; T Baigorria; A Lardone & C Cazorla. 2010. Análisis económico del cultivo de maíz sobre vicia utilizada como cultivo de cobertura. EEA INTA Marcos Juárez. 6 p. Informe técnico.
- Baigorria, T & C Cazorla. 2009. Evaluación de especies como cultivo de cobertura en sistemas agrícolas puros en siembra directa. *En: jornadas nacionales de sistemas productivos sustentables*. AACs. Bahía Blanca, Argentina CD 5 pp.
- Bortolini, CG; PRF Silva & G Argenta 2000. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho na sucessão. *R Bras Ci Solo* 24: 887-903.
- Brown, SM; JT Whitwell; JT Touchton & CH Burmester 1985. Conservation tillage systems form cotton production. *Soil Science Society of American Journal* 49: 1256-1260.
- Calegari, A & M Peñalva, 1994. Abonos verdes. Importancia agroecológica y especies con potencial de uso en el Uruguay. Canelones, Uruguay MGAP (JUNAGRA)-GTZ.
- Calegari, A; A Mondardo; EA Bulisani; LP Wildner; MBB Costa; PB Alcântara; S Miyasaka & TJC Amado. 1993. Adução verde no sul do Brasil. 2ª Edição. Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa (AS-PTA), Rio de Janeiro, RJ Brasil, 346 pp.
- Clark, AJ; JJ Meisinger; AM Decker & FR Mulford. 2007. Effects of a grass-selective herbicide in a vetch-rye cover crop system on nitrogen management. *Agronomy Journal* 99(1): 36-42.
- Da Silva, AA; PRF da Silva; E Suhre; G Argenta; ML Strieder & L Rambo 2007. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. *Ciência Rural*. Santa Maria. RS Brasil. v 37, n4, p. 928-935.
- Da Silva DA. 2004. Cultura antecesora e adubação nitrogenada na produção do milho em um sistema de plantio direto. Dissertação de mestrado. Dourados. MS-Brasil: UFMS. Campus de Dourados.
- Das Ros, CO & C Aita. 1996. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, SP. Brasil v. 20, n.1, p.135-140,
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2008. *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Ernst, O. 2004. Efecto de la incorporación de una leguminosa invernal como cultivo de cobertura sobre las necesidades de nitrógeno de maíz sembrado sin laboreo. Tesis. Especialización en siembra directa. UBA. Buenos Aires. Argentina.
- Fageria, NK; VC Baligar & BA Bailey 2005. Role of Cover Crops in Improving Soil and Row Crop Productivity. *Communications in soil science and plant analysis* 36: 2733-2757.
- Fernández, R; JA Galantini; MR Landriscini; A Marinissen & M Enrique. 2007. Fertilización con N y S en trigo con distinto antecesor: efecto sobre la nutrición, el rendimiento y la calidad. *Revista Investigaciones Agropecuarias (RIA)-INTA* 36(2): 29-48.
- Giacomini, SJ. 2001. Consorciação de plantas de cobertura no outono/inverno e fornecimento de nitrogênio ao milho em sistema plantio direto. Santa Maria, RS. Brasil. Universidade Federal de Santa Maria, 91p. Dissertação de Mestrado, 115pp.
- Giacomini, SJ; AP Hübner; IC Chiapinotto & MR Fries 2004. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I – Dinâmica do nitrogênio no solo. *Revista Bras. Ci. Solo* Vol. 28. Pp. 739-749.
- Hargrove, WL. 1986. Winter legumes as a nitrogen source for no-till grain sorghum. *Agronomy Journal* 79: 281-286.
- Heinrichs, R; C Aita; TJC Amado & AL Fancelli. 2001. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: Relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. *Revista de Ciência do Solo* v. 25, p.331-340.
- Heinzmann, FX. 1985. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. Vol. 20. Pp. 1021-1030.
- Hicks, SK; CW Wendt; JR Gannaway & RB Baker. 1989. Allelopathic effects of wheat straw on cotton germination, emergence and yield. *Crop Sci.* 1057-1061.
- Miguez, F.E. & G.A. Bollero 2005. Review of corn yield response under winter cover cropping systems using meta-analytic methods. *Crop Sci.* 45:2318-2329.
- Magie, CA; RW Pearson & AE Hiltbold, 1967. Toxicity of decomposing crop residues to cotton germination and seedling growth. *Agronomy Journal* 59: 197-199.
- Ohland, RAA; LC Ferreira de Souza; LC Hernani; ME Marchetti & MC Gonçalves. 2005. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no Milho em plantio direto. Soil cover crops and nitrogen fertilizing in corn in no tillage planting. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, MG. Brasil. v. 29, n. 3, p. 538-544.
- Ohland, R.A.A. 2002. Adubos verdes e nitrogênio em cobertura na cultura do milho (*Zea mays* L) em plantio direto. Dissertação de mestrado. Dourados: UFMS-MS-Brasil (Dissertação de mestrado).
- Restovich, SB; AE Andriulo & MJ Torti. 2008. Destino del nitrógeno edáfico luego de la cosecha del maíz con diferentes cultivos de cobertura utilizados como antecesores bajo siembra directa en la pampa ondulada. Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Semiárido: un desafío para la Ciencia del Suelo 13 al 16 de mayo de 2008 Potrero de los Funes (SL), Argentina. 7pp.
- Ruffo, M & GA Bollero. 2003. Residue decomposition and prediction of carbon and nitrogen release rates based on biochemical fractions using principal-component regression. *Agronomy Journal* Vol. 95. Pp. 1034-1040.
- Sá, JCM. 1996. Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto. Passo Fundo: Aldeia Norte, PR. Brasil. 23 pp.
- Sá Pereira E de. 2013. Los cultivos de cobertura y la productividad del maíz en siembra directa: dinámica del nitrógeno, agua y fracciones orgánicas del suelo. Tesis de Doctorado en Agronomía, UNS, Bahía Blanca. Argentina, 166 pp.
- Smith, MS; WW Frye; JJ Varco. 1987. Legume winter cover crops. *In: B.A. Stewart (ed) Advances in Soil Science* Vol. 7:95-139. Springer-Verlag, New York, NY.
- Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy, 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 365 pp.
- Sullivan, PG; DJ Parrish & JM Luna. 1991. Cover crop contributions to N supply and water conservation in corn production. *Am. J. Alter. Agric.* 6: 106-113.
- Torres, D & A del Pino. 1995. Dynamics of soil nitrogen in agroecosystems with addition of fertilizer and incorporation of legumes. *In: Ljunggren, H; Favelukes, G.; Dankert, M.A.; (eds) SAREC, Conference Efficient use of Biological Nitrogen Fixation: Accomplishments and Prospects*. Buenos Aires. December 5-7, 199pp.

- Torbert, HA; W Donald; R Reeves & L Mulvaney. 1996. Winter legume cover crop benefits to corn: rotation vs. fixed-nitrogen effects. *Agron. J.* 88: 527-535.
- Touchton, JT; DH Rickerl; RH Walker & CE Snipes. 1984. Winter legumes as nitrogen source for no-tillage cotton. *Soil and Tillage Research* 4: 391-40.
- Vanzolini, JI. 2011. La *Vicia villosa* como cultivo de cobertura: efectos de corto plazo sobre el suelo y la productividad del maíz bajo riego en el Valle Bonaerense del Río Colorado. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias, UNS, Bahía Blanca. Argentina, 144 pp.