

EFFECTO DE UNA LEGUMINOSA INVERNAL COMO CULTIVO DE COBERTURA SOBRE RENDIMIENTO EN GRANO Y RESPUESTA A NITRÓGENO DE MAÍZ SEMBRADO SIN LABOREO

Ernst, O.¹

Recibido: 26/11/04 Aprobado: 28/12/05

RESUMEN

Cuando el sistema de producción incluye una rotación de cultivos con pasturas plurianuales con leguminosas, existe un ingreso de N por fijación simbiótica, que en promedio supera los 100 kg ha⁻¹ año⁻¹. La siembra de leguminosas anuales entre dos cultivos de verano consecutivos, permitiría incorporar N adicional en el sistema aprovechando el período improductivo que se genera entre la cosecha de un cultivo y la siembra del siguiente. Se evaluó el efecto de incorporar un cultivo cobertura de leguminosa (*Trifolium alexandrinum*) sobre el aporte de N y rendimiento en grano de maíz sembrado sin laboreo, en una secuencia maíz-barbecho-maíz. Los tratamientos fueron arreglados en un diseño factorial, y consistieron de dos manejos del período de barbecho con cultivo de cobertura (CC) y sin cobertura (SC), por cuatro dosis de N agregados como urea a la siembra de maíz (0, 20, 40 y 60 kg ha⁻¹). No existió diferencia en la disponibilidad de agua en el suelo entre los tratamientos CC y SC. La disponibilidad de N-NO₃ en suelo, absorción de N y producción de materia seca al estadio V6 y R1 de maíz fue significativamente mayor para CC. La eficiencia de recuperación aparente del N fijado por el CC se incrementó de 13% a V6 a 24% en R1 y 47% a cosecha. El N equivalente fertilizante fue de 24 kg ha⁻¹ y la Utilización Aparente de N fijado fue de 36%.

PALABRAS CLAVE: cultivo de cobertura, fijación simbiótica de N, eficiencia de N.

SUMMARY

EFFECT OF THE WINTER LEGUME AS COVER CROP ON THE YIELD AND N RESPONSE OF A NO TILL CORN

When the crop system includes a rotation with perennial grass and legumes pastures, there is an N income through symbiotic fixation that on average exceeds 100 kg ha⁻¹ year⁻¹. Planting an annual legume between two consecutive summer crops would allow the incorporation of additional N in the system, during the otherwise unproductive period between the harvest of the first crop and the planting of the second one. The effect of the inclusion of a legume (*Trifolium alexandrinum*) as cover crop on the N input and corn grain yield in a corn-fallow-corn sequence was studied. Treatments were arranged in a factorial design of cover treatments (with cover crop –CC- and without cover crop –SC-) by N treatments added as urea at corn planting (0, 20, 40 y 60 kg ha⁻¹). There was no difference in soil water availability between CC and SC treatments. Soil N-NO₃ availability, N uptake, and dry matter production at growth stages V6 and R1 were significantly higher in CC. The apparent recovery efficiency of N fixed by CC increased from 13% at V6, to 24% at R1, and 47% at harvest. The N fertilizer equivalent was 24 kg ha⁻¹, and the N apparent utilization was 36%.

KEY WORDS: cover crop, symbiotic fixation of N, N efficiency.

¹Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni". Departamento de Producción Vegetal. Facultad de Agronomía. Paysandú. República Oriental del Uruguay. CP 60000. Correo electrónico: E-mail: oernst@fagro.edu.uy

INTRODUCCIÓN

Cuando el sistema de producción incluye una rotación de cultivos con pasturas plurianuales con leguminosas, existe un ingreso de N por fijación simbiótica, que en promedio supera los 100 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Díaz-Rosello, 1992; Sawchik, 2001). La siembra de leguminosas anuales entre dos cultivos de verano consecutivos utilizadas como cultivo de cobertura (CC), permitiría incorporar N adicional en el sistema aprovechando el período improductivo que se genera entre la cosecha de un cultivo y la siembra del siguiente.

Cultivos de cobertura se definen a aquellos que crecen específicamente para mantener el suelo cubierto, protegiéndolo de la erosión, evitando la pérdida de nutrientes por lavado y escurrimiento y, en caso de ser leguminosa, incorporando nitrógeno (N) al sistema. Se diferencian de una pastura porque no son de renta directa y crecen fuera de estación dentro de un sistema de siembra de cultivos anuales (Reeves & Touchton, 1991). Sin embargo, una de las principales limitantes podría ser el uso del agua. Si no existe recarga del perfil durante el período de barbecho posterior al CC, el agua podría transformarse en una limitante para el cultivo siguiente, limitando así la respuesta al N adicional disponible (Corak *et al.*, 1991). En promedio, un 70% del nitrógeno acumulado en la parte aérea de las leguminosas proviene de la fijación simbiótica y un 12% del total del N está en la parte radicular (entre 8 y 23%) (Mitchel & Teel, 1977).

Existen varias propuestas para estimar el aporte aparente de N de un CC. En algunos casos se utiliza la relación entre el rendimiento obtenido después de un CC de leguminosa y el obtenido sobre barbecho. En otros se utiliza la relación entre el rendimiento en grano obtenido después de un CC no leguminosa con N y el obtenido después de un CC leguminosa sin N, descontando así, el aporte de N del suelo retenido por el CC no leguminosa. El nitrógeno equivalente fertilizante (NEF) es utilizado para estimar el aporte del nutriente por el CC al cultivo siguiente y se define como los kg ha⁻¹ de N como fertilizante que son necesarios agregar para igualar el rendimiento en grano obtenido sobre un CC sin fertilizante. Este indicador es fácilmente cuantificable en términos económicos, lo que representa una ventaja para la difusión de la técnica. Tiene la desventaja de que los efectos adicionales positivos o negativos del CC sobre el cultivo de renta cuentan como efecto N. Por otro lado, la estimación de N necesario surge de pocas dosis de N muy diferentes entre sí, lo que reduce la precisión de la estimación y subestima el aporte aparente cuando existe otra limitante para la producción del cultivo de renta. Es por esto que Smith *et al.* (1987), propusie-

ron utilizar la diferencia en N total absorbido por la planta en lugar de rendimiento en grano. Estos autores presentan resultados en los que el aporte aparente de N varió entre 15 y 200 kg ha⁻¹, con valores más probables entre 60 y 100 kg ha⁻¹ de N. Las variaciones respondieron a la producción de materia seca de la leguminosa, al manejo del barbecho y del cultivo. Las situaciones de menor aporte aparente fueron aquellas en el que el rendimiento del cultivo de renta fue limitado por otro factor, como disponibilidad de agua, implantación, malezas o época de siembra.

Torbert & Reeves, (1991), utilizaron como CC la leguminosa *Trifolium incarnatum* con nodulación efectiva con relación a la misma especie sin nodulación y cultivos de cobertura gramíneas (*Secale cereale*). El maíz posterior a la leguminosa con nódulos efectivos logró el mismo rendimiento en grano sin N adicional que luego de la gramínea con 60 kg ha⁻¹ de N como urea. Griffin *et al.* (2000), concluyeron que es posible suministrar todo el N necesario para más de 20.000 kg ha⁻¹ de grano de maíz dulce utilizando *Vicia villosa* como CC.

La eficiencia de recuperación del N fijado por una leguminosa como CC depende de la sincronización entre el momento de aporte del nutriente, el manejo de la fertilización nitrogenada y la demanda del cultivo de renta (Reeves *et al.*, 1993; Vaughan & Evanylo, 1998; Vyn *et al.*, 1999; Griffin *et al.*, 2000). Las eficiencias de recuperación del N fijado reportadas en la bibliografía son relativamente bajas, oscilando entre un mínimo de 3% y un máximo de 56% (Varco *et al.*, 1993; Müller & Sundman, 1988; Ladd & Amato, 1986; Yaacob & Blair, 1980).

Dentro de los factores que condicionan la eficiencia de recuperación del N fijado se citan el estado de madurez del CC (Huntington *et al.*, 1985; Reeves *et al.*, 1993), la fecha de aplicación del herbicida total al CC, el tiempo entre la aplicación del herbicida al CC y la siembra del cultivo de renta y las condiciones de temperatura y humedad durante ese período y el manejo de la fertilización nitrogenada en el cultivo de renta (Reeves *et al.*, 1993; Griffin *et al.*, 2000; Vyn *et al.*, 1999; Vyn *et al.*, 2000).

Los cultivos de leguminosas como cobertura y su posterior uso como abono verde fueron evaluados en Uruguay en sistemas con laboreo. Torres & del Pino (1995), utilizaron trébol rojo (*Trifolium repens*) asociado al trigo logrando un efecto equivalente a 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno agregado como urea en el maíz siguiente. Sin embargo, más información es necesaria sobre el uso de los CC en siembra directa y en las condiciones productivas de Uruguay.

El objetivo de este trabajo es determinar el aporte aparente de N por fijación simbiótica de una leguminosa anual invernal sembrada como cultivo de cobertura previo a maíz

y la respuesta de éste a la fertilización nitrogenada al estadio de 6 hojas verdaderas, a floración y a cosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" de la Facultad de Agronomía, ubicada en el Departamento de Paysandú, 10 km al sur de la ciudad de Paysandú (32° sur y 56° oeste). Se instaló el año 2002, en un suelo con 7 años de siembra directa continua con 3,7% de Materia Orgánica y 12 ppm de fósforo (Bray I) en los primeros 0,2m del perfil. El suelo se clasifica como Brunosol éútrico típico (MAP, 1976).

Los tratamientos fueron dos manejos del período de barbecho invernal: con una leguminosa como cultivo de cobertura (CC) y sin cultivo de cobertura (SC), y cuatro dosis de nitrógeno (0, 20, 40, 60 kg ha⁻¹) agregado como urea a la siembra del maíz.

El CC utilizado fue trébol alejandrino (*Trifolium alexandrinum*) cultivar Calypso; se sembró el 15 de mayo a una densidad de 6 kg ha⁻¹ de semilla. El 29 de setiembre se aplicó un herbicida total (Glifosato, 1,9 l ha⁻¹) a los tratamientos con CC.

Los tratamientos SC se mantuvieron libres de malezas con aplicaciones de Glifosato realizadas el 15 de mayo, 20 de junio y 30 de agosto.

El diseño experimental consistió en un factorial completo al azar con tres repeticiones. El tamaño de parcela fue de 42 m² con un ancho correspondiente a 6 surcos de maíz por 6 m de largo.

La siembra de maíz, cultivar DK 758, se realizó el 23 de octubre con una sembradora SEMEATO SH 11 de doble disco desfasado con una distancia entre surcos de 0,7m e inmediatamente se aplicó una mezcla de atrazina y acetoclor (1,2 +1,0 l ha⁻¹, respectivamente). La población objetivo fue de 70000 plantas ha⁻¹.

Determinaciones

En el CC : Se cuantificó la producción de biomasa del *Trifolium alexandrinum* y el contenido de N total determinado por Kjeldahl en la materia seca previo a la aplicación del herbicida total. Para ello se tomaron 6 muestras al azar de una superficie de 0,3*0,3 m en cada parcela. En el mismo momento se tomaron 5 muestras de suelo por parcela de los primeros 0,2 m del perfil para cuantificar la concentración de nitrógeno como nitratos (N-NO₃⁻) utilizando un electrodo específico ORION, modelo 93-07, con CaSO₄ como floculante.

A la siembra de maíz. Se tomaron 5 muestras de suelo por parcela desde los primeros 0,2 m del perfil, determinándose su humedad gravimétrica y concentración de N-NO₃⁻.

Al estadio de 6 hojas en maíz (V6). Se determinó la población lograda en los tres surcos centrales de cada parcela. Se tomaron 10 plantas consecutivas por parcela en el segundo surco desde el borde y se cuantificó su peso seco promedio y porcentaje de N total por Kjeldahl. Se determinó la disponibilidad de N-NO₃⁻ en suelo (0- 0,2 m) de igual manera que a la siembra.

A floración de maíz (R1). En los tratamientos con 0 y 60 kg ha⁻¹ de N a la siembra se cortaron 10 plantas por parcela y se determinó su peso seco y concentración de N. Además, se determinó la concentración de N total en una muestra compuesta de la hoja opuesta a la mazorca principal.

A la cosecha de maíz. El rendimiento en grano se estimó cosechando los 2 surcos centrales de cada parcela. Se determinó el contenido de N total por Kjeldahl y peso seco en una muestra de 10 plantas enteras por parcela.

Aporte de N desde el CC. Se estimó de dos formas:

a. Aporte Aparente de N (Ap. Ap. N.). Se estimó como la diferencia en la absorción de N entre el maíz sembrado sobre CC y sobre SC en los testigos (sin fertilizante nitrogenado).

b. Nitrógeno equivalente fertilizante (NEF). Se estimó a partir de la curva de respuesta en grano al N agregado a la siembra de maíz sobre SC. Representa los kg ha⁻¹ de N como fertilizante que es necesario agregar en SC para igualar la absorción de N y el rendimiento en grano de maíz sobre CC sin fertilizante nitrogenado.

Eficiencia de recuperación aparente del N fijado por el CC.

a. Eficiencia de recuperación aparente del N (Ef. Rec. Ap. N) a V6, R1 y a cosecha del maíz, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Ef. Rec. Ap. N} = \frac{\text{N absorbido sobre CC} - \text{N absorbido sobre SC}}{\text{N en CC al aplicar el herbicida total}}$$

b. Utilización Aparente de N (U. Ap. N)

$$\text{U. Ap. N} = \frac{\text{NEF}}{\text{N en CC al aplicar el herbicida total}}$$

Balance diario de agua útil en el suelo 0-0,45m del perfil (AU)

$$\text{AU (mm)} = (\text{CC-MP}) - \text{ETo} + \text{PP}$$

Donde:

CC = agua almacenada retenida a capacidad de campo (mm)

MP = agua retenida a marchites permanente (mm)

ETo = evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹)

PP = lluvia (mm)

ET_o se estimó por el método de cubeta evaporimétrica descrito por Fuentes (1998), utilizando la siguiente ecuación:

$$ET_o = K_p \cdot E_p \cdot K_c$$

Donde:

K_p = coeficiente de Tanque A

E_p = evaporación de Tanque A (mm día⁻¹)

K_c = coeficiente de cultivo (FAO)

El balance hídrico se realizó a partir del 1 de setiembre y hasta que el maíz alcanzó la floración (R1).

Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados utilizando el PROCEDIMIENTO GLM del sistema Statistical Analysis Systems (Ver. 6.11 1996; SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina U.S.A.). La separación de medias se realizó a través de la MDS.

Se calcularon curvas de respuesta al agregado de N a la siembra para CC y SC. Para cada variable se realizó la comparación de los coeficientes de regresión estimados utilizando el PROCEDIMIENTO MIXED del sistema Statistical Analysis Systems (Ver. 6.11 1996; SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina U.S.A.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas y disponibilidad de agua en el suelo

En el Cuadro 1 se resumen las condiciones climáticas del período entre aplicación del herbicida total al CC y floración del maíz.

Durante los 24 días previos a la siembra llovieron 176mm. Esto permitió llegar a la siembra con 70mm de agua útil almacenada en los primeros 0,45m del perfil (90% de capacidad de campo) en ambos tratamientos (Figura 1).

Cuadro 1. Precipitaciones (mm) y temperatura media diaria en los períodos comprendidos entre la aplicación del herbicida al cultivo de cobertura y siembra, siembra y el estado de 6 hojas (V6), estado de 6 hojas y floración (R1) del maíz.

	Lluvia (mm)		Temperatura C°
	Período	Promedio histórico	
	días	mm	
Herbicida-siembra	24	176	17,5
Siembra-V6	40	265	19,0
V6-R1	30	135	23,6
TOTAL	94	576	20,1

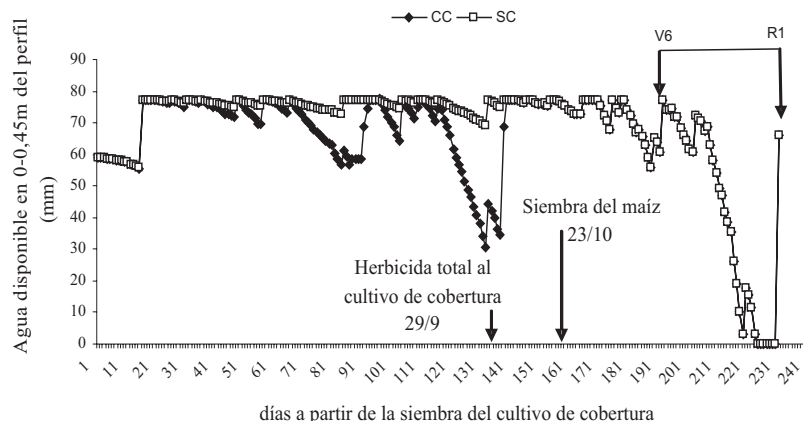


Figura 1. Disponibilidad de agua en los primeros 0,45m del perfil del suelo durante el período comprendido entre la siembra del cultivo de cobertura y floración de maíz (R1).

En el período 14 de abril al 23 de octubre el suelo se mantuvo cercano a capacidad de campo en el tratamiento SC. En tanto, el tratamiento CC utilizó agua, en especial en los 25 días previo a la aplicación del herbicida. En este momento, mientras que el tratamiento SC tenía el 97% del agua útil almacenada, con CC se consumió el 55%. Las lluvias ocurridas durante el período de barbecho químico permitieron recargar el perfil, pudiéndose realizar la siembra de maíz con la misma reserva de agua en el suelo en ambos tratamientos. Dos características parecen determinantes de los resultados. Por un lado, la profundidad del perfil considerada y por otro, el régimen de lluvias de la estación. Para las condiciones de Uruguay, es normal mantener el suelo cercano a capacidad de campo durante todo el invierno y la posibilidad de recarga del perfil a inicios de la primavera es alta (Corsi, 1982), lo que permitiría implementar la propuesta sin aumentar en forma excesiva el riesgo de no poder sembrar cultivos de verano a inicios de la estación de crecimiento con el perfil recargado con agua.

Durante el ciclo del cultivo de maíz, la ausencia de precipitaciones entre los estadios V6-R1 determinó una reducción importante en la cantidad de agua útil en los pri-

meros 0,45 m del perfil en ambos manejos, lo que fue subsanado por dos lluvias ocurridas a fines de diciembre. Como lo plantean Odhiambo *et al.* (2001) y Andriani *et al.* (2001) para la secuencia maíz-avena-soja el CC consume agua durante su crecimiento, lo que puede retrasar la fecha de siembra del cultivo de renta si no se ajusta la fecha de aplicación del herbicida total sobre el CC. Un retraso en la aplicación del herbicida puede significar un mayor y más tarde aporte cuantitativo de N tarde en el ciclo del cultivo, pero agrega incertidumbre sobre la cantidad de agua almacenada en el suelo.

Efecto del CC

En el Cuadro 2 se resumen los resultados de los análisis de varianza para las variables de respuesta cuantificadas en el suelo y en el cultivo de maíz.

Con la excepción de la disponibilidad de N-NO₃⁻ en el suelo en los primeros 0,2 m del perfil a la siembra y al estadio V6 y producción MS de maíz hasta V6, existió un efecto significativo del CC sobre el crecimiento y absorción de N. El efecto de la fertilización nitrogenada a la siembra fue muy significativo en todas las variables de respuesta cuantificadas y su interacción con la presencia

Cuadro 2. Efecto de la presencia de un cultivo de cobertura de leguminosa (efecto CC) y la fertilización nitrogenada al maíz (efecto N), sobre la disponibilidad de N-NO₃⁻ en el suelo, absorción de N, contenido de N total en hoja y planta, producción de materia seca y grano de maíz .

	Efecto CC	Efecto N	CC*N
N-NO ₃ ⁻ en el suelo a la siembra (mg kg ⁻¹)	ns	-	-
N-NO ₃ ⁻ en el suelo a V6 (mg kg ⁻¹)	ns	**	*
N absorbido hasta V6 (kg ha ⁻¹)	*	**	ns
N absorbido hasta R1(kg ha ⁻¹)	*	**	*
N absorbido hasta cosecha (kg ha ⁻¹)	*	**	*
N en planta a V6 (mg kg ⁻¹)	*	**	*
N en hoja en R1(mg kg ⁻¹)	*	**	ns
MS hasta V6 (kg ha ⁻¹)	ns	**	*
MS hasta R1(kg ha ⁻¹)	*	**	*
Rendimiento en grano de maíz (kg ha ⁻¹)	*	**	*

ns= no significativo. * p≤ 0,05. **p ≤0,01.

o no del CC no fue significativa sólo sobre la absorción de N hasta V6 y la concentración de N en la hoja opuesta a la mazorca en R1.

Disponibilidad de $N-NO_3^-$ en el suelo hasta la siembra del maíz

Hasta la fecha en que se aplicó el herbicida total (29 de setiembre), el *Trifolium alexandrinum* como CC produjo 1.321 kg ha^{-1} de MS con $46 \text{ g de N kg}^{-1}$ de MS, lo que representa un aporte de 61 kg ha^{-1} de N al sistema, con una relación C:N estimada de 9:1 asumiendo un contenido de C en el tejido vegetal de 45%. Entre la aplicación de Glifosato al CC y la siembra del maíz pasaron 24 días, en los que el peso seco se redujo a un 62% del peso inicial, con $38 \text{ g de N kg}^{-1}$ de MS, por lo que ocurrió un aporte neto de N al sistema de 31 kg ha^{-1} . Sin embargo, esta diferencia a favor de CC no se cuantificó en la disponibilidad de $N-NO_3^-$ al momento de la siembra de maíz. Cuando se aplicó el herbicida al CC (29/9), a pesar de que en el tratamiento SC hacía 135 días que no existía crecimiento vegetal y por lo tanto absorción de N, no existieron diferencias en la disponibilidad de $N-NO_3^-$ en el suelo entre tratamientos (7 y 8 mg kg^{-1} en CC y SC, respectivamente). Esto puede ser atribuido a que en los 24 días transcurridos entre la aplicación del herbicida total al CC y la siembra del maíz (23/10) llovieron 176 mm , lo que, para las condiciones de suelo y ambiente en las que se realizó el experimento, significó un exceso de 62 mm . Esto podría explicar la baja concentración de $N-NO_3^-$ en el suelo en ambos tratamientos (7 y 5 mg kg^{-1} en CC y SC

respectivamente). Müller & Sundman (1988) y Mansoer *et al.* (1997) mencionan que en condiciones de exceso de agua en el suelo y baja temperatura, el N liberado desde un CC puede perderse antes de que el cultivo de renta sea sembrado. En suelos como los del experimento, con un horizonte Bt a $0,25 \text{ m}$ de profundidad, las lluvias excesivas favorecen las pérdidas de N por desnitrificación (Baethgen & Cardellino, 1978).

Absorción N y crecimiento de maíz

Hargrove (1986), propone cuantificar el aporte de N de un barbecho con CC con relación al manejo sin CC, analizando el comportamiento del testigo sin N (Cuadro 3).

El crecimiento y rendimiento en MS y grano de maíz sobre CC fue significativamente mayor que sobre SC en los testigos sin agregado de fertilizante nitrogenado a la siembra. Como el CC no modificó la población obtenida a V6, se descarta un posible efecto de ésta sobre la producción y absorción de N del maíz.

Hasta V6, el CC presentó una menor concentración de $N-NO_3^-$ en suelo ($p < 0,05$) que SC, lo que estaría determinado por la mayor extracción de N por parte del cultivo. El maíz creció un 14% más y absorbió un 23% más de $N \text{ ha}^{-1}$ que sobre SC. Hasta el estado R1 el incremento en la producción de MS fue de un 10% respecto a SC y en la absorción de N fue de un 18% más llegando a cosecha con un 34% más de N absorbido. La tasa de absorción de N hasta V6 fue de $0,6$ y $0,78 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y 3 y $3,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ entre V6 y R1 para SC y CC, respectivamente.

Cuadro 3. Efecto del CC sobre la población de maíz, disponibilidad de $N-NO_3^-$ en el suelo, producción de materia seca y absorción de N hasta V6, R1 y cosecha de maíz para los testigos sin N a la siembra con relación SC.

	CC	SC
Población (plantas ha^{-1})	71.185 a	72.650 a
$N-NO_3^-$ en suelo V6 (mg kg^{-1})	13 a	17 b
Materia seca producida hasta V6 (kg ha^{-1})	2.392 a	2.102 b
N absorbido hasta V6 (kg ha^{-1})	43 a	35 b
Materia seca producida hasta R1 (kg ha^{-1})	6.795 a	6.156 b
N absorbido hasta R1 (kg ha^{-1})	98 a	83 b
N absorbido hasta cosecha (kg ha^{-1})	115 a	86 b

Valores seguidos por la misma letra dentro de filas no difieren entre sí al $p \leq 0,05$.

La eficiencia de recuperación aparente del N fijado por el CC se incrementó desde un 13% en V6, a un 24% en floración y alcanzó el 47% a cosecha (Figura 2).

El aumento en la Ef. Rec. Ap. N con el desarrollo del cultivo de maíz, estaría indicando una buena sincronización entre la oferta de N y la demanda por el cultivo. Sin embargo, si se considera la disponibilidad de $N-NO_3^-$ en suelo tanto a la siembra como a V6, no se lograron los niveles establecidos como mínimos para cubrir las necesidades del cultivo de maíz durante esta etapa. La baja disponibilidad inicial de $N-NO_3^-$ en el suelo (5 a 8 mg kg^{-1} a la siembra de $N-NO_3^-$) sería un indicador de que los 24 días de barbecho entre la aplicación de Glifosato al CC y la siembra de maíz no fueron suficientes para lograr un aporte inicial de importancia. Al considerar los 66 días hasta V6 (24 días de barbecho más 42 días entre siembra y V6), la disponibilidad de $N-NO_3^-$ todavía era inferior a 20 mg kg^{-1} en los primeros 0,2m del perfil, concentración crítica establecida por Borghi & Wornikov (1998) para maíz en V6 para las condiciones de Uruguay. Por lo tanto, si bien existió una buena sincronización entre el aporte de N desde los restos de la leguminosa y la demanda del maíz, el aporte de N hasta V6 habría sido deficiente. Como lo discuten Reeves *et al.*, 1993; Vyn *et al.*, 1999; Griffin *et al.*, 2000 & Vyn *et al.*, 2000, estos resultados son esperables cuando el período entre aplicación del herbicida y siembra es muy corto o cuando el CC tiene una alta relación C/N e

indican la necesidad de corregir la deficiencia temprana con el agregado de N a la siembra. La baja relación C/N del rastrojo del CC utilizado (9:1), más la reducción de 31 kg ha^{-1} cuantificada en la cantidad de N inmovilizado en el rastrojo, no coincide con la baja disponibilidad de $N-NO_3^-$ en el suelo existente a la siembra del maíz. El aumento en la disponibilidad ocurrido entre siembra y V6 (de 8 a 13 mg kg^{-1}), sumado a la curva diferencial de absorción de N por el maíz entre CC y SC, indican que la baja disponibilidad de $N-NO_3^-$ a la siembra sería consecuencia de un corto período entre la aplicación del herbicida total al CC y la siembra del maíz.

Fertilización con N a la siembra del maíz y su interacción con el CC

La fertilización con N a la siembra del maíz incrementó significativamente la disponibilidad de $N-NO_3^-$ en los primeros 0,2 m del perfil del suelo (Figura 3).

El efecto de la fertilización con N fue dependiente del manejo del barbecho en los testigos sin N, siendo menor la disponibilidad de $N-NO_3^-$ sobre CC que sobre SC. Esto es explicado por una mayor absorción de N y estado nutricional del maíz a V6 sobre CC que sobre SC.

Cuando no se agregó N a la siembra la concentración de N en planta a V6 fue de $13,3 \text{ g kg}^{-1}$ y $11,4 \text{ g kg}^{-1}$ de materia seca para CC y SC, respectivamente ($p=0,05$). El efecto fue corregido por el agregado de N a la siembra, lo que se refleja en las pendientes de las curvas de respuesta

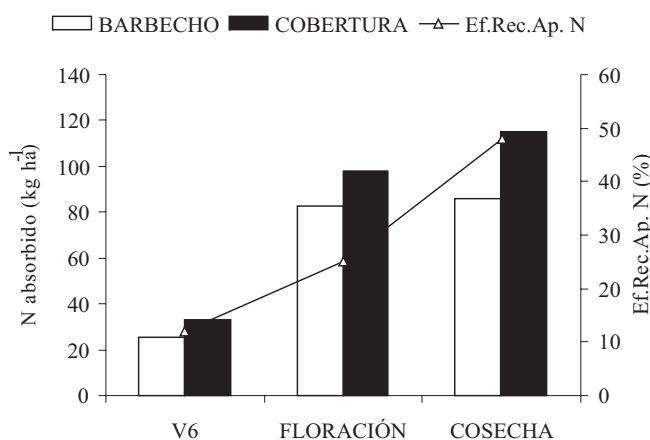


Figura 2. Absorción de N por el maíz hasta V6, R1 y cosecha sobre un cultivo de cobertura de *Trifolium alexandrinum* o sobre barbecho químico (SC) y eficiencia de recuperación aparente (Ef. Rec. Ap. N) del N fijado hasta la aplicación del herbicida total.

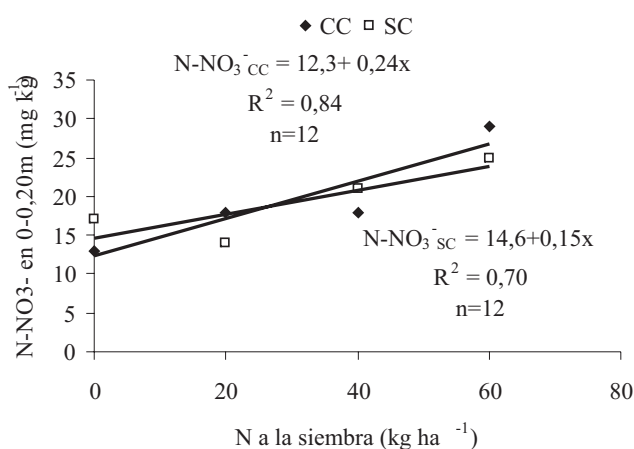


Figura 3. Efecto de la fertilización con N a la siembra sobre la disponibilidad de $N-NO_3^-$ en el suelo (0- 0,2 m) al estadio V6 de maíz para dos manejos de barbecho (con cobertura-CC y sin cobertura-SC).

(0,05 y 0,11 g kg⁻¹ para CC y SC, respectivamente) (Figura 4C). No obstante, el estado nutricional del cultivo se mantuvo por debajo de 22 a 25 g kg⁻¹, establecido por Binford *et al.* (1992) Dara *et al.* (1992) como nivel crítico para maíz en V6, aun con la dosis de 60 kg ha⁻¹ de N agregados como urea a la siembra.

El efecto significativo del CC sobre la producción de MS del maíz a V6 y R1 fue corregido por el agregado de N a la siembra, pero la absorción de N fue independiente (Figura 4 B y E).

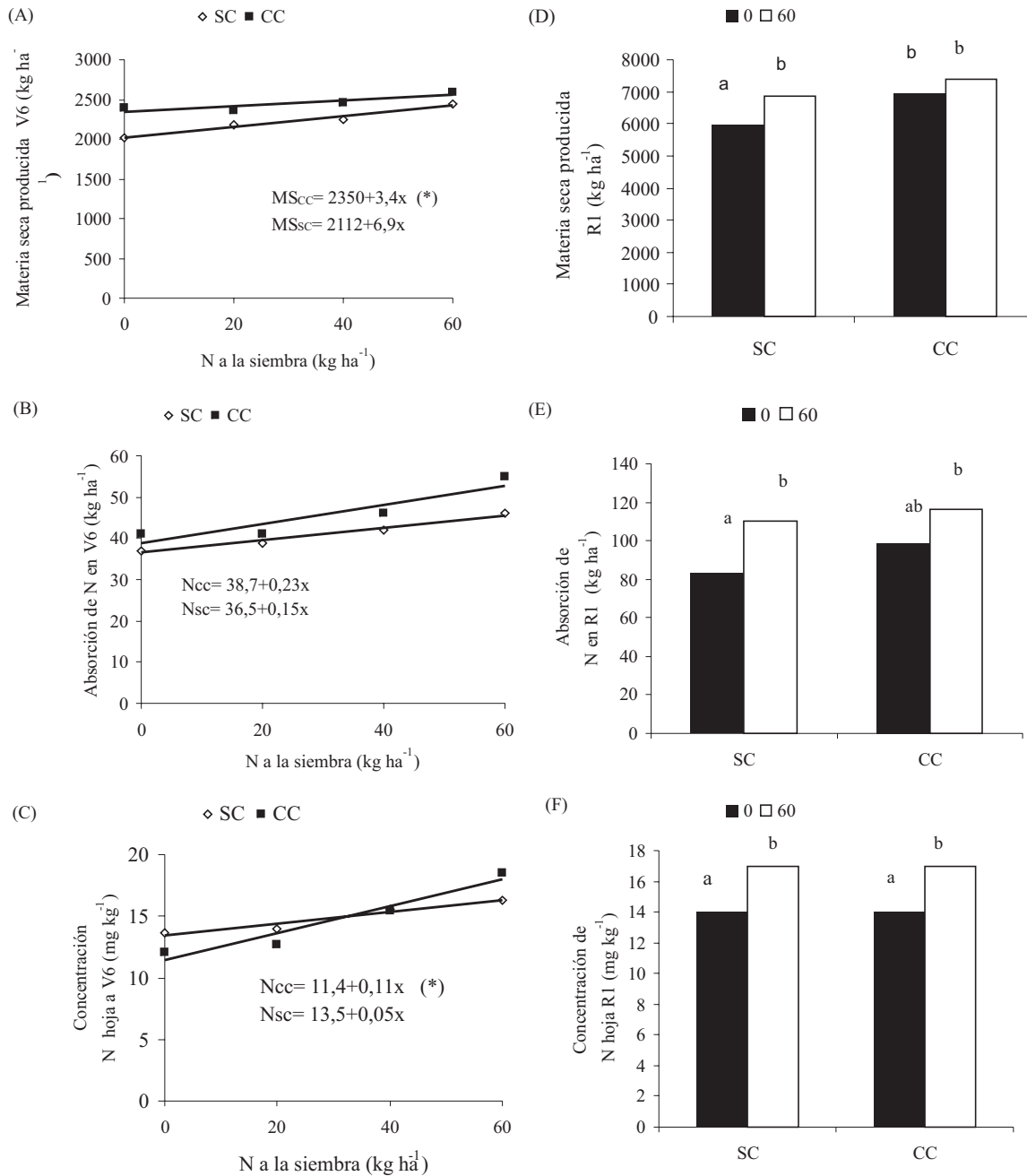


Figura 4. Efecto de la fertilización con N a la siembra de maíz sobre la producción de materia seca producida hasta V6 (A) y hasta R1 (D); absorción de N hasta V6 (B) y hasta R1 (E) y concentración de N en planta a V6 (C) y en la hoja opuesta a la mazorca en R1 (F).

Estos resultados confirman que el CC aportó una cantidad creciente de N coincidente con el aumento de la demanda del cultivo de maíz, pero que el aporte inicial fue deficiente. La corrección de esta deficiencia con el agregado de N a la siembra permitió mejorar el comportamiento del cultivo. La respuesta en producción de MS, absorción de N y concentración de N en planta tuvo un incremento lineal hasta el máximo evaluado. Borghi & Wornikov (1998) descartaron a la cantidad de N absorbido y al estado nutricional del cultivo de maíz hasta V6 como estimadores de la respuesta a la fertilización nitrogenada en este estadio y proponen la disponibilidad de $N-NO_3^-$ en el suelo en los primeros 0,2m del perfil del suelo. Utilizando las curvas de respuesta a la fertilización para la disponibilidad de $N-NO_3^-$ en el suelo a V6, se estima que fue necesario agregar 32 $kg\ ha^{-1}$ de N a la siembra sobre CC y 36 $kg\ ha^{-1}$ de N sobre SC para alcanzar el valor crítico de disponibilidad de $N-NO_3^-$ en suelo.

La concentración de N en la hoja opuesta a la mazorca a la floración es utilizada como un indicador del estado nutricional del cultivo (Voss *et al.*, 1970). En este experimento ambos manejos (CC y SC) mostraron baja concentración de N en hoja en los tratamientos sin N y la misma respuesta al agregado de 60 $kg\ ha^{-1}$ de N a la siembra.

Efecto sobre el rendimiento en grano de maíz

En la Figura 5 se presenta la respuesta en rendimiento en grano de maíz al agregado de N sobre CC y SC.

Existió una interacción significativa ($p=0,05$) para la respuesta a N agregado a la siembra con la presencia o no del

CC. Mientras que para el testigo sin N, el rendimiento en grano fue un 20,4% superior sobre CC, con 60 $kg\ ha^{-1}$ no hubo diferencia entre tratamientos. Sin embargo, fueron necesarios 40 $kg\ ha^{-1}$ de N para el máximo rendimiento sobre CC y 60 $kg\ ha^{-1}$ sobre SC. Esto indica que la respuesta en rendimiento se explicaría por un aporte diferencial de N entre CC y SC pero no fue suficiente para el máximo rendimiento del cultivo. El efecto fue corregido por el agregado de N a la siembra del maíz. El NEF fue de 24 $kg\ ha^{-1}$, representando una U. Ap. N medida en rendimiento en grano de 39%. Sin embargo, la Ef. Rec. Ap. N alcanzó el 47%. La diferencia entre los estimadores radica en que el NEF se estima a partir de la respuesta al N agregado a la siembra y la U. Ap. N lo relaciona con la cantidad de N fijado por el CC. La Ef. Rec. Ap. N se estima a partir de la absorción de N de los testigos sin fertilizar. El NEF resulta útil para cuantificar la respuesta económica del CC (Torbert & Reeves, 1991). En tanto, la Ef. Rec. Ap. N resulta un mejor estimador del aporte de N al cultivo (Smith *et al.*, 1987). Para las condiciones de este experimento, el costo de producción del CC sería equivalente a 52 $kg\ ha^{-1}$ de urea a la siembra del maíz.

De los 61 $kg\ ha^{-1}$ de N presentes en el momento de aplicar el herbicida total al CC, sólo 29 $kg\ ha^{-1}$ fueron absorbido por el maíz. Con las determinaciones realizadas no es posible conocer qué sucedió con los 32 $kg\ ha^{-1}$ de N restantes. En los 24 días del período comprendido entre la aplicación de herbicida y la siembra del maíz desaparecieron 31 $kg\ ha^{-1}$ de N del CC que no estaban como $N-NO_3^-$ en el suelo a la siembra del maíz. El exceso de lluvia pudo

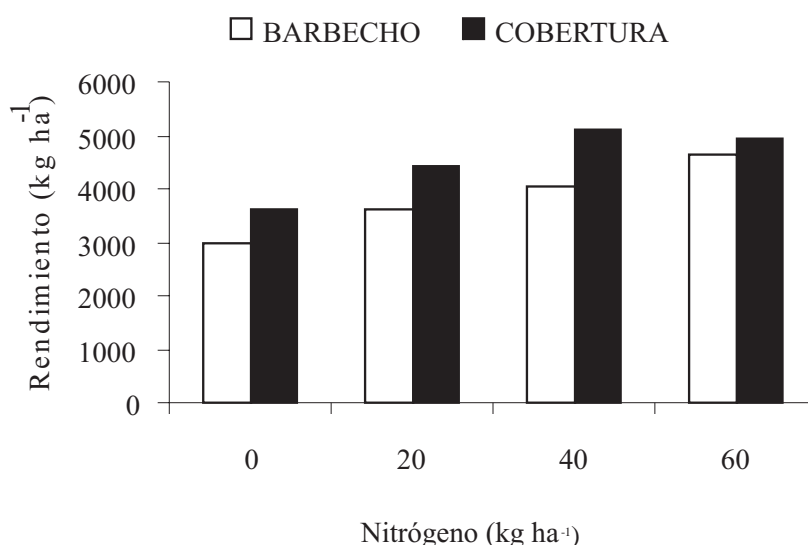


Figura 5. Respuesta de maíz al nitrógeno agregado a la siembra sobre dos manejos de barbecho (con cultivo de cobertura-CC y sin cultivo de cobertura-SC).

determinar la pérdida de N por lavado o desnitrificación desde el perfil del suelo muestreado. Por otro lado, existe una pérdida de $N-NH_3^+$ asociadas a la muerte del vegetal (Harper *et al.*, 1987), que podrían condicionar la eficiencia de uso del N absorbido y del fijado por el CC. Considerando la baja disponibilidad de $N-NO_3^-$ en el suelo a la siembra, la aún limitante disponibilidad a V6 y la curva de absorción de N por el maíz en los testigos sin fertilizar, podría concluirse que el N incorporado por el CC que quedó disponible para el cultivo fue liberado durante la estación de crecimiento del maíz. El N faltante se habría perdido del sistema durante los 24 días previos a la siembra o parte podría estar incorporado al "pool" orgánico del suelo. Como lo demostraron Ladd *et al.* (1981); Ladd & Amato (1986) & Kuo *et al.* (1997), hasta un 10% del N fijado por un CC puede quedar incorporado al N orgánico del suelo y ser liberado en años sucesivos.

CONCLUSIONES

El crecimiento, absorción de N y rendimiento del maíz fue incrementado por la siembra de una leguminosa anual como CC durante el invierno previo.

El agregado de N a la siembra eliminó las diferencias entre CC y SC, pero el máximo rendimiento en grano de maíz se logró con 40 kg ha⁻¹ de N sobre CC y la respuesta fue lineal hasta los 60 kg ha⁻¹ de N en SC.

El CC aportó una cantidad creciente de N con el tiempo, lo que, si bien coincidió con el incremento de la demanda del cultivo de maíz, determinó una deficiencia del nutriente entre siembra y V6. La eficiencia de recuperación del N fijado por el CC pasó de 13% al estadio V6 a 47% a la cosecha.

Para las condiciones del experimento, el NEF fue 24 kg ha⁻¹, por lo que el costo del CC fue equivalente a 52 kg ha⁻¹ de urea.

Para las condiciones climáticas del año, el CC no redujo la cantidad de agua útil disponible en el suelo a la siembra del cultivo de renta.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Fernando O. García (INPOFOS), Dr Flavio Gutierrez Boem (FA-UBA) y al Ing. Agr Raúl Lavado (FA-UBA) por los aportes y correcciones realizadas al trabajo original.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRIANI, J.M.; BACIGALUPPO, S. & MALASPINA, A. 2001. Dinámica del agua en sistemas agrícolas. En: Panigati, J.L.; Buschiazzo, D.; Marelli, H. 2001 (ed). Siembra Directa II. INTA. 376 p.
- BAETGHEN, W. & CADELLINO, G. 1978. Movimientos de nitratos bajo diferentes coberturas vegetales. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Montevideo Uruguay.
- BINFORD, G.D.; BLACKMER, A.M. & CERRATO, M.E. 1992. Nitrogen concentration of young corn plants as an indicator of nitrogen availability. *Agronomy Journal* 84:219-223.
- BORGHI, E. & WORNIKOV, C. 1998. Evaluación de la capacidad predictiva de distintos indicadores de suelo y planta para el ajuste de la refertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Tesis. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Uruguay. 50p.
- CORAK, S.J.; FRYE, W.W. & SMITH, M.S. 1991. Legume and nitrogen fertilizer effects on soil water and corn production. *Soil Science Society of American Journal* 55: 1395-1400.
- CORSI, W.C. 1982. Regionalización agroclimática de Uruguay para cultivos. Centro de Investigaciones Agronómicas "Dr. Alberto Böerger". Miscelánea No 40.
- DARA, S.T.; FIXEN, P.E. & GELDERMAN, R.H. 1992. Sufficiency level and diagnosis and recommendations integrated system approaches for evaluating the nitrogen status of corn *Agronomy Journal* 84: 1006- 1010.
- DÍAZ-ROSELLÓ, R. 1992. Evolución de la materia orgánica en rotación de cultivos con pasturas. *Revista INIA de Investigaciones Agronómicas* 1: 103-110.
- FAO. 1977. Irrigation and Drainage. Paper No. 24, Crop water requirements.
- FUENTES, J.L. 1998. Necesidades hídricas de los cultivos. En: Fuentes, J.L Técnicas de riego. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Madrid.
- GRIFFIN, T.; LIEBMAN, M. & JEMISON, J. 2000. Cover crops for sweet corn production in a short-season environment. *Agronomy Journal* 92: 144-151.
- HARGROVE, W.L. 1986. Winter legumes a nitrogen source for no-till grain sorghum. *Agronomy Journal* 79:281-286.
- HARPER, L.A.; SHARPE, R.R.; LANGDALE, G.W. & GIDDENS, J.E. 1987. Nitrogen cycling in a wheat crop: soil, plant and aerial nitrogen transport. *Agronomy Journal* 79:965-973.

- HUNTINGTON, R.L.; GROVE, J.H. & FRYE, W.W. 1985. Release and recovery of nitrogen from winter annual cover crops in no-till corn production. *Communication Soil Science PLANT ANNALS* 16:193-211.
- KUO, S. & JELLUM, E.J. 2002. Influence of Winter Cover Crop and Residue Management on Soil Nitrogen Availability and Corn. *Agronomy Journal* 94: 501-508.
- KUO, S.; SAINJU, U.M. & JELLUM, E.J. 1997. Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate in soil. *Soil Science Society of American Journal* 61: 145-152.
- LADD, J. N. & AMATO, M. 1986. The fate of nitrogen from legume and fertilizer source in soil successively cropped with wheat under field condition. *Soil Biology Biochemistry*. 18: 417-425.
- LADD, J.N; OADES, J.M. & AMATO, M. 1981. Microbial biomass formed from ¹⁴C, ¹⁵N-labelled plant material decomposing in soil in the field. *Soil Biology Biochemistry* 13:119-126.
- MANSOER, Z., REEVES, D. W. & WOOD, C.W. 1997. Suitability of sunn hemp as an alternative late-summer legume cover crop. *Soil Science Society of American Journal* 61:246-253.
- M.A.P. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca. Tomo III. 452 pp..
- MITCHELL, W.H. & TILL, M.R. 1977. Winter-annual cover crops for no-tillage corn production. *Agronomy Journal* 69: 569-573.
- MÜLLER, M.M. & SUNDMAN, V. 1988. The fate of nitrogen (¹⁵N) released from different plant materials during decomposition under field conditions. *Plant Soil* 105: 133-139.
- ODHIAMBO, J.O. & BOMKEB, A.A. 2001 Grass and Legume Cover Crop Effects on Dry Matter and Nitrogen Accumulation. *Agronomy Journal* 93:299-307.
- REEVES, D.W.; WOOD, C.W. & TOUCHTON, J.T. 1993. Timing nitrogen application for corn in a winter legume conservation-tillage system. *Agronomy Journal* 85: 30-85.
- REEVES, D.W. & TOUCHTON, J.T. 1991. Influence of fall tillage and cover crops on soil water and nitrogen use efficiency of corn grown on a Coastal Plain soil 76-77. In: W.L. Hargrove (ed.) *Cover crops for clean water*. Proc. of an International Conference, April 9-11, 1991, Jackson, TN Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA.
- SAWCHIK, J. 2001. Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo-pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. En: Díaz-Rosello, R. (Ed) *Siembra Directa en el Cono Sur*. PROCISUR.
- SMITH, M.S.; FRYE, W.W. & VARCO, J.J. 1987. Legume winter cover crops. In: B.A. Stewart (ed.) *Advances in Soil Science* Vol. 7:95-139. Springer-Verlag, New York, NY.
- TORBERT, H.A. & REEVES, D.W. 1991. Benefits of winter legumes cover crop to corn: Rotation versus fixed-nitrogen effects. 99-100. In: Hargrove, W.L. (Ed) *Cover crops for clean water*. Proceedings of an International Conference West Tennessee Experimental Station, April 9-11, 1991, Jackson, TN Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA.
- TORRES, D. & DEL PINO, A.; 1995. Dynamics of soil nitrogen in agroecosystems with addition of fertilizer and incorporation of legumes. En: Ljunggren, H; Favelukes, G.; Dankert, M.A.; (eds) *SAREC, Conference Efficient use of Biological Nitrogen Fixation: Accomplishments and Prospects*. Buenos Aires, December 5-7.
- TOUCHTON, J.T.; RICKERL, D.H.; WALKER, R.H.; SNIPES, C.E. 1984. Winter legumes as nitrogen source for no-tillage cotton. *Soil and Tillage Research* 4: 391-401.
- VARCO, J.J.; FRYE, M.S.; SMITH, M.S. & MAC KOWN, C.T. 1993. Tillage effects on legume decomposition and transformation of legume and fertilizer nitrogen-15. *Soil Science Society of American Journal* 57: 750-756.
- VAUGHAN, J.D. & EVANYLO G.K. 1998. Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. *Agronomy Journal* 90: 536-544.
- VYN, T.J.; FABER, J.G.; JANOVICEK, K.J. & BEAUCHAMP, E.G. 2000. Cover crop effects on nitrogen availability to corn following wheat. *Agronomy Journal* 92: 915-924.
- VYN, T.J.; JANOVICEK, K.J.; MILLER, M.H. & BEAUCHAMP, E.G. 1999. Soil nitrate accumulation and corn response to preceding small-grain fertilization and cover crops. *Agronomy Journal* 91: 17-24.
- VOSS, R.E.; HANWAY, J.J. & DUMENIL, L.C. 1970. Relationship between grain yield and leaf N, P and K, concentration for corn (*Zea mays* L.) to N, P and K fertilizer. *Agronomy Journal* 62: 736-740.
- YAACOB, O. & BLAIR, G. 1980. Mineralization of ¹⁵N-labelled legume residues in soil with different nitrogen content and its uptake by Rhodes grass. *Plant Soil* 57: 237-248.

