

LEGUMINOSAS COMO CULTIVO DE COBERTURA *

Oswaldo Ernst

Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay

oernst@fagro.edu.uy

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción que se basan en un cultivo por año generan tiempos de barbecho excesivamente largos, en los que se aumenta la probabilidad de tener pérdidas de suelo y nutrientes por erosión. La utilización de cultivos CC durante este período, normalmente improductivo, permite mantener el suelo cubierto, reciclar nutrientes y produce un nuevo ingreso de rastrojo al sistema. Cuando el CC utilizado es una leguminosa, se logra además, un ingreso adicional de nitrógeno (N), lo que puede representar una ventaja económica adicional.

En sistemas de producción que rotan cultivos anuales con pasturas plurianuales de gramíneas y leguminosas, el ingreso de N por fijación simbiótica supera los 100 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Díaz-Rosello, 1992; Sawchik, 2001), pero cuando la fase agrícola de la rotación se alarga o el sistema es agrícola puro, el ingreso de N, es muy escaso, por lo que debe ser reemplazado por el agregado de mayores cantidades de N como fertilizante.

En este artículo se revisa el rol de las leguminosas como CC dentro de secuencias agrícolas, las variables determinantes de la cantidad de N incorporado al sistema, de su momento de aporte para el cultivo de renta siguiente y de la eficiencia de uso del N fijado. Por último, se presentan resultados obtenidos con la siembra de un CC de trébol alejandrino (*Trifolium alexandrinum*) dentro de una secuencia maíz-maíz sembrado sin laboreo en el Litoral Oeste de Uruguay.

Los cultivos de cobertura

Los CC se definen como 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 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. Cuando la estación de crecimiento supera los 180 días libre de heladas, el CC es sustituido por un cultivo de renta, cumpliendo con los mismos objetivos (Reeves y Touchton, 1991).

La propuesta se adecua a climas con inviernos templados y en general, para secuencias de cultivos estivales. El uso de la técnica está agrónomicamente limitado por la ventana de tiempo para producir materia seca, por temperatura invernal y por disponibilidad de agua de la estación de crecimiento. Es por esto que no se justifica su uso en zonas con nieve ni en zonas de buena disponibilidad hídrica invernal, donde siempre existe la posibilidad de incorporar cultivos de renta (Smith *et al.*, 1987).

Diferentes autores coinciden en que la cantidad de N fijado está directamente relacionado a la producción de materia seca de la leguminosa, ya que en promedio, las leguminosas fijan 30 kg ha⁻¹ de N ton⁻¹ de materia seca producido. Por lo tanto, las condiciones climáticas durante el período de crecimiento de la leguminosa, son determinantes del éxito de la propuesta.

Por otro lado, la fecha de siembra y de eliminación del abono verde queda definida por la cosecha de un cultivo y la siembra del próximo. Por ejemplo, la cosecha de un cultivo de verano fija la fecha de siembra de la leguminosa invernal y la siembra del cultivo de verano posterior determina la fecha a partir de la cual debe iniciarse el barbecho químico para recargar con agua y nutrientes el perfil del suelo. El retraso de la fecha de siembra para alargar la estación de crecimiento de la cobertura no resulta en una buena práctica porque reduce el rendimiento del cultivo de renta (Mansoer, *et al.*, 1997).

El principal problema de esta práctica es el uso del agua ya que, si no existe recarga del perfil durante el período de barbecho posterior al CC, podría transformarse en una limitante para el cultivo siguiente (Corak, *et al.*, 1991; Stute y Posner, 1995).

Cultivos de cobertura y nitrógeno acumulado

Los CC pueden ser no leguminosas como *Secale cereale*, *Setaria italica* o *Helianthus sp* entre otras, o leguminosas. En el primer caso, el aporte de N para el cultivo siguiente, si se cuantifica, es el resultado de reducir las pérdidas del nutriente que ocurren durante el periodo de barbecho. Cuando el CC es una leguminosa existe un aporte adicional de N, producto de la fijación simbiótica. Smith *et al.* (1987) presentan resultados experimentales en los que este aporte varió entre 15 y 200 kg ha⁻¹ de N, con valores mas probables entre 60 y 100 kg ha⁻¹ de N. Las variaciones responden a la producción de materia seca de la leguminosa, al manejo del barbecho y del cultivo. Las situaciones de menor aporte aparente son aquellas en el que el rendimiento del cultivo de renta fue limitado por otro factor, como disponibilidad de agua, implantación, malezas, y época de siembra. Entre las leguminosas, las diferencias están determinadas por el potencial de producción de materia seca para cada ambiente. En este sentido, existen trabajos que evalúan cultivos propuestos como cobertura para seleccionar las mejoras alternativas para cada condición climática y tipo de suelo (Calegari y Peñalva, 1994). En promedio, 70% del N acumulado en la parte aérea de las leguminosas proviene de la fijación simbiótica, y es posible encontrar hasta un 12% del total en la parte radicular (entre 8 y 23%). En todos los casos, la cantidad de N fijado aumenta con la cantidad de materia seca acumulada. Como esto esta asociado a cambios en la composición química de los tejidos, al avanzar el estado de madurez se reduce la concentración de N, lo que condiciona el momento del aporte del N para el cultivo siguiente (sincronización entre oferta y demanda de N). En los CC leguminosas, aunque se reduce la concentración de N en los tejidos, su cantidad aumenta con los días de crecimiento. Por el contrario, en CC gramíneas, la compensación puede determinar que la cantidad de N absoluta no se modifique (Vaughan y Evanylo, 1998).

Eficiencia de recuperación del N fijado por el CC

La eficiencia de uso del N fijado por un CC leguminosa depende de la sincronización entre el momento de aporte del nutriente, el manejo de la fertilización nitrogenada y la demanda del cultivo anual o de renta (Reeves *et al.*, 1993; Vaughan y 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%.

La eficiencia del N fijado resulta menor a la del N agregado como fertilizante, por lo que una fracción de aquel quedaría incorporado al sistema suelo y podría ser recuperado en el mediano plazo. Dentro de los factores que condicionan la eficiencia de recuperación del N fijado se citan el estado de madurez del CC, la fecha de aplicación del herbicida, 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, factores todos que determinan el grado de sincronización entre la oferta del N y la demanda por el cultivo.

Tipo y Madurez del cultivo de cobertura.

En todos los cultivos, la cantidad de N fijado/absorbido aumenta con el estadio de desarrollo pero la concentración en los tejidos se reduce. En sistemas en los que se utilizan leguminosas como CC se debe lograr un balance entre la cantidad fijada y la calidad del rastrojo (concentración de N), ya que esto afecta la velocidad con que el nutriente se hace disponible y con ello, la sincronización con la demanda del cultivo. En muchos casos, la mayoría del N fijado aparece después de la floración del maíz, lo que reduce su eficiencia de uso (Huntington *et al.*, 1985; Reeves *et al.*, 1993). Una alternativa es corregir la deficiencia inicial con fertilizante nitrogenado, para lo cual es posible utilizar los indicadores de suelo comunes y, en estos casos, raramente es necesario realizar una corrección posterior (Reeves *et al.*, 1993; Griffin *et al.*, 2000; Vyn *et al.*, 1999; Vyn *et al.*, 2000).

La fecha de siembra del CC es una variable determinante de la acumulación de materia seca y N hasta la aplicación del herbicida (Odhiambo *et al.*, 2001). Para alargar la fase de crecimiento, se han evaluado siembras en cobertura previo a la cosecha del cultivo de renta

(Hiveley y Cox, 2001). De esta forma es posible ganar días de crecimiento sin afectar la fecha de siembra del cultivo siguiente.

Fecha de aplicación del herbicida y tiempo de barbecho

El tiempo de desecación es una de las variables determinantes de la cantidad de N fijada y la calidad del rastrojo. Cuanto más temprano se realiza la aplicación de herbicida menor será la cantidad de N fijada pero mayor la calidad del rastrojo, por lo que el resultado en N aportado al cultivo siguiente puede ser el mismo. Cuando el tiempo de barbecho se acorta, la disponibilidad de $N-NO_3^-$ en el suelo a la siembra es baja, lo que debe ser corregido por fertilización (Vaughan y Evanylo, 1998; Sainju y Singh, 2001). En cambio, si el período de barbecho es excesivo, la mayoría del N será aportado temprano en el ciclo del cultivo y, si la precipitación es excesiva, podría llegar a perderse antes de que el cultivo lo requiera. En estos casos, los rastrojos viejos resultan una mejor opción, ya que aportan el N más tardíamente (Mansoer *et al.*, 1997; Müller y Sundman, 1988).

Tipo de laboreo y manejo de rastrojo

La recuperación del N fijado por el CC varía con el tipo de laboreo utilizado. La información es coincidente en que con laboreo convencional el aporte temprano y la recuperación total dentro de la estación de crecimiento, es mayor que cuando no se laborea (Sainju y Singh, 2001). Bajo siembra directa o sin laboreo (SD), el aporte inicial es menor mientras que el aporte tardío, cercano a la floración del cultivo de interés es alto aunque su eficiencia puede quedar comprometida si no se corrige la deficiencia inicial del nutriente con fertilizante nitrogenado (Reeves *et al.*, 1993).

Un ejemplo: Trébol alejandrino en una secuencia maíz-barbecho-maíz

El trabajo se realizó en la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" de la Facultad de Agronomía de la República Oriental del Uruguay ubicada en el Departamento de Paysandú, 10 km al sur de la ciudad de Paysandú (32° Sur y 56° oeste).

Se instaló en un suelo Brunosol éutrico típico (MAP, 1976) con 3,7% de materia orgánica y 12 ppm de fósforo (Kurtz & Bray I) en los primeros 0,2 m del perfil. Los tratamientos consistieron en un factorial completo de dos manejos del período de barbecho invernal; con cultivo de cobertura de leguminosa (CC) y sin cultivo de cobertura (SC), por cuatro dosis de N (0, 20, 40, 60 kg ha⁻¹) agregados como urea a la siembra del maíz.

El CC utilizado fue trébol alejandrino (*Trifolium alexandrinum*) cultivar Calypso; se sembró el 15 de mayo a 6 kg ha⁻¹ de semilla. Los tratamientos SC se mantuvieron libres de malezas con aplicaciones de glifosato. El 29 de Setiembre se aplicó 1,9 l ha⁻¹ de glifosato a los tratamientos CC.

La siembra de maíz, con híbrido 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. El diseño experimental consistió en un factorial completo al azar con tres repeticiones. El tamaño de parcela fue de 42m² (6 surcos de maíz por 6m de largo).

Se determinó la producción de biomasa del *Trifolium alexandrinum* y el porcentaje de N (Kjeldahl) en la materia seca previo a la aplicación del herbicida total y a la siembra de maíz. En el cultivo de maíz se determinó la producción de materia seca y absorción de N a 6 hojas (V6), floración (R1) y madurez fisiológica (MF) y el rendimiento en grano.

Aporte de N desde el CC. Se estimó como la diferencia en la absorción de N entre el maíz sembrado sobre CC y sobre SC de los testigos.

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.

Estimaciones de eficiencia de recuperación del N.

a. Eficiencia de recuperación aparente del N (Ef. Rec. Ap. N) a V6, R1 y a cosecha del maíz,

$$Ef. Rec. Ap. N = \frac{kg\ ha^{-1} N\ absorbido\ sobre\ CC - kg\ ha^{-1} N\ absorbido\ del\ barbecho}{kg\ ha^{-1} N\ en\ CC\ al\ aplicar\ herbicida}$$

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

$$U. Ap. N = \frac{NEF}{kg\ ha^{-1} N\ en\ CC\ al\ aplicar\ herbicida}$$

Efecto del CC sobre la disponibilidad de agua en el suelo

En la Figura 1 se presenta el balance agua en el suelo para el período siembra del CC-R1 de maíz.

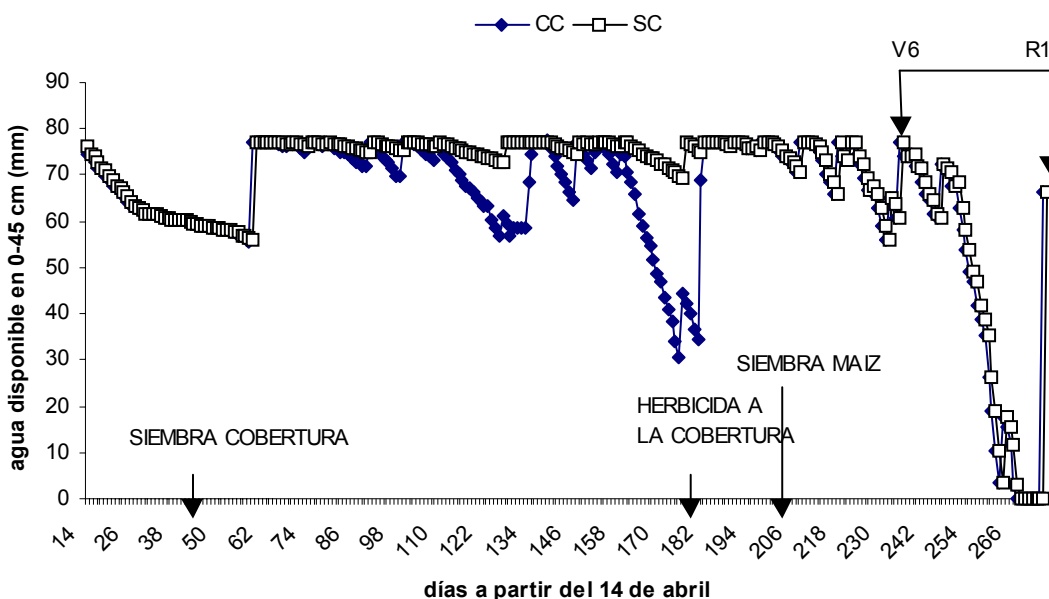


Figura 1. Agua disponible en los primeros 45 cm del perfil entre el inicio del experimento (14 de Abril) hasta el estadio R1 de maíz.

Durante el 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 previos a la aplicación del herbicida. En este momento, mientras que el tratamiento SC tenía el 97% del agua útil almacenada, el CC 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. 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, la ausencia de precipitaciones entre los estadios V6-R1 de maíz, determinaron una reducción importante en la cantidad de agua útil en los primeros 45cm del perfil en ambos manejos, lo que fue subsanado por dos lluvias ocurridas a fines de diciembre. Un retraso en la aplicación del herbicida puede significar un aporte cuantitativo mayor de N en etapas tardías del ciclo del cultivo pero agrega incertidumbre sobre la cantidad de agua almacenada en el suelo.

Efecto del CC sobre la disponibilidad de N y crecimiento de maíz

Hargrove (1986) propone cuantificar el aporte de N de un CC con relación al manejo sin cobertura (SC), analizando el comportamiento de los testigos sin N (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto del CC sobre el número de plantas ha^{-1} , producción de MS ha^{-1} y absorción de N ha^{-1} hasta V6, R1 y cosecha para los testigos sin N a la siembra con relación al tratamiento SC.

	CC	SC
Plantas ha^{-1}	71185 a	72650 a
N- NO_3^- en suelo V6 (mg kg^{-1})	13 a	17 b
Materia seca hasta V6 (kg ha^{-1})	2392 a	2102 b
N absorbido kg ha^{-1} hasta V6 (kg ha^{-1})	43 a	35 b
Materia seca hasta R1 (kg ha^{-1})	6795 a	6156 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 $P \leq 0,05$.

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

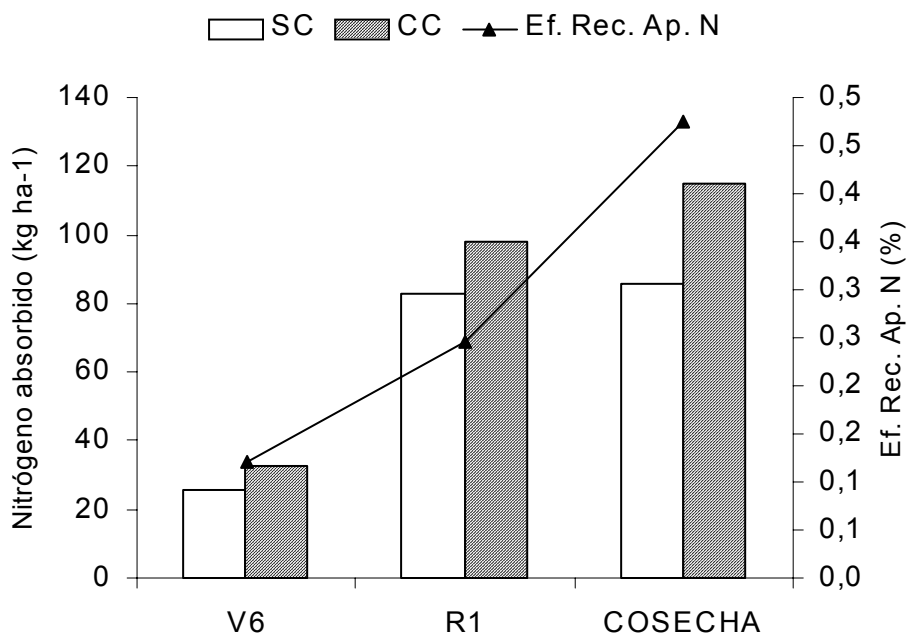


Figura 2. Absorción de N por el maíz hasta V6, R1 y cosecha sobre un CC de *Trifolium alexandrinum* o sobre barbecho químico (SC) y eficiencia de recuperación aparente (Ef. Rec. Ap. N) del N fijado hasta la aplicación del herbicida total.

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 aplicación de glifosato al cultivo cobertura 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 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. El aumento en la disponibilidad ocurrido entre siembra y V6 (8 mg kg^{-1} 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. 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 (Reeves *et al.*, 1993; Griffin *et al.*, 2000 y Vyn *et al.*, 2000).

Efecto sobre el rendimiento en grano de maíz.

En la Figura 3 se presenta la respuesta en rendimiento en grano de maíz al agregado de N sobre CC y SC. Existió una interacción significativa ($P \leq 0,05$) 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 y 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.

El cultivo de maíz absorbió solo 29 kg ha^{-1} de N de los 61 kg ha^{-1} presentes en el momento de aplicar el herbicida total al CC. Con las determinaciones realizadas no es posible conocer qué sucedió con los 32 kg ha^{-1} de N restantes. En parte, el exceso de lluvia pudo determinar la pérdida de N por lavado o desnitrificación desde el perfil del suelo muestreado. Por otro lado, existe una pérdida de N como 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 y Amarato (1986), y 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.

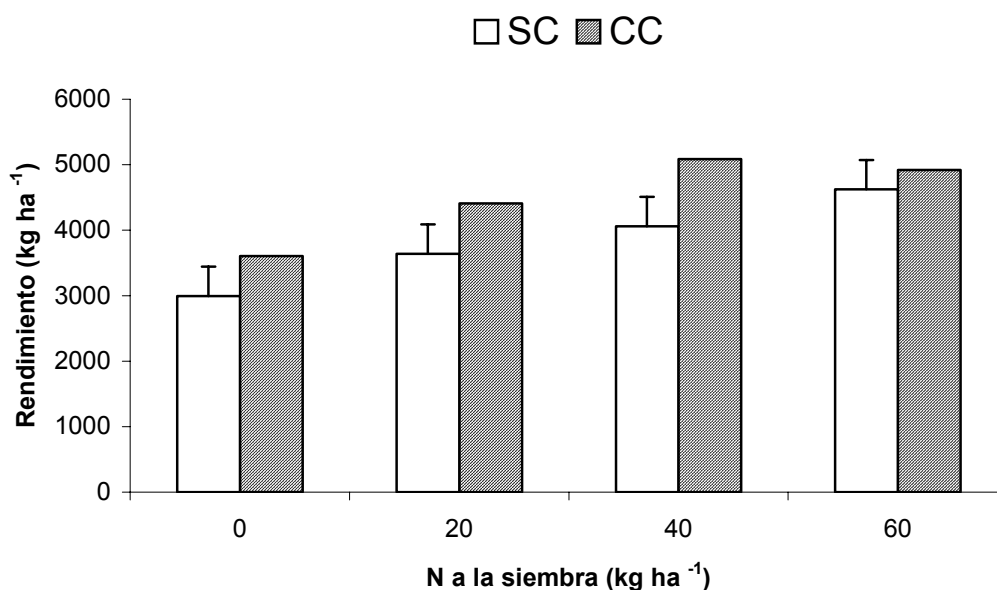


Figura 3. Rendimiento de maíz con distintas dosis de N a la siembra sobre SC y CC.

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% en el 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.
- El crecimiento del CC durante el invierno no modificó la disponibilidad de agua para el cultivo de maíz.

BIBLIOGRAFÍA

- Calegari, A. y Peñalva, M. 1994. Abonos verdes. Importancia agroecológica y especies con potencial de uso en el Uruguay. Canelones, Uruguay, MGAP (JUNAGRA)-GTZ.
- Corak, S.J.; Frye, W.W. y Smith, M.S. 1991. Legume and nitrogen fertilizer effects on soil water and corn production. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 55: 1395-1400.
- Corsi, W.C. 1982. Regionalización agroclimática de Uruguay para cultivos. Centro de Investigaciones Agronómicas "Dr. Alberto Böerger". Miscelánea No 40.
- Griffin, T.; Liebman, M. y Jemison, J. 2000. Cover crops for sweet corn production in a short-season environment. *Agron. J.*92: 144-151.
- Hargrove, W.L. 1986. Winter legumes as a nitrogen source for no-till grain sorghum. *Agron. J.*79:281-286.
- Hiveley, W.D. y Cox, W.J. 2001. Interseeding Cover Crops into Soybean and Subsequent Corn Yields. *Agron. J.* 93: 308-313.
- Huntington, R.L.; Grove, J.H. y Frye, W.W. 1985. Release and recovery of nitrogen from winter annual cover crops in no-till corn production. *Comm. Soil Sci. Plant Ana.* 16:193-211.
- Kuo, S.; Sainju, U.M. y Jellum, E.J. 1997. Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*61: 145-152.
- Ladd, J. N y Amato, M. 1986. The fate of nitrogen from legume and fertilizer source in soil successively cropped with wheat under field condition. *Soil Biol. Biochem.* 18: 417-425.
- Ladd, J.N; Oades, J.M. y Amato, M. 1981. Microbial biomass formed from ¹⁴C, ¹⁵N-labelled plant material decomposing in soil in the field. *Soil Biol. Biochem.* 13:119-126.
- Mansoor, Z., D. W. Reeves, and C. W. Wood. 1997. Suitability of sun hemp as an alternative late-summer legume cover crop. *Soil Sci. Soc. Am. J.*61:246-253.
- Müller, M.M. y 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. y Bomkeb, A.A. 2001. Grass and legume cover crop effects on dry matter and nitrogen accumulation. *Agron. J.* 93: 299-307.
- Reeves, D.W.; Wood, C.W. y Touchton, J.T. 1993. Timing nitrogen application for corn in a winter legume conservation-tillage system. *Agron. J.*85: 30-85.
- Reeves, D.W. y 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.
- Sainju, U.M. y Singh, B.P. 2001. Tillage, Cover Crop, and Kill-Planting Date Effects on Corn Yield and Soil Nitrogen. *Agron. J.*93: 878-886.
- 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.* 2001.
- Smith, M.S.; Frye, W.W. y 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.
- Stute, J.K. y Posner, J.L. 1995. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the upper Midwest. *Agron. J.* 87: 1063-1069.
- Torbert, H.A. y 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.

- Vaughan, J.D. y Evanylo G.K. 1998. Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. *Agron. J.* 90: 536-544.
- Vyn, T.J.; Faber, J.G.; Janovicek, K.J. y Beauchamp, E.G. 2000. Cover crop effects on nitrogen availability to corn following wheat. *Agron. J.* 92: 915-924.
- Vyn, T.J.; Janovicek, K.J.; Miller, M.H. y Beauchamp, E.G. 1999. Soil nitrate accumulation and corn response to preceding small-grain fertilization and cover crops. *Agron. J.* 91: 17-24.