

Estudio de la contribución de nitrógeno por parte de los cultivos de cobertura al cultivo de maíz

Romina Fernández^{1,2}, Matías Saks³, Mauricio Uhaldegaray², Alberto Quiroga^{1,2} y Elke Noellemeier²

Introducción

La utilización de cultivos de cobertura (CC) persigue varios objetivos como, por ejemplo, el control de malezas (Abdin et al., 2000; Gerowitt, 2003), el aumento de las reservas de carbono (C) de los sistemas de producción agrícolas (Follett, 2001; Dinesh, 2004; Ding et al., 2006), y el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo (Franzluebbers y Stuedemann, 2008). En muchos casos, los CC son fertilizados para lograr una mayor producción de biomasa y, de esta manera, aumentar el secuestro de C (Follett, 2001) y mejorar la cobertura del suelo. Los CC fertilizados pueden afectar las emisiones de óxido nitroso (N₂O) del suelo (Petersen et al., 2011) pero también mejorar la disponibilidad de nitrógeno (N) para los cultivos posteriores (Ranells y Waggoner, 1997; Mohammadi, 2010).

En ambientes semiáridos o sub-húmedos, uno de los principales problemas para incluir los CC es su efecto potencialmente negativo sobre la disponibilidad de agua para los cultivos de cosecha (Restovich et al., 2012), lo que podría reducir el rendimiento potencial. Sin embargo, resultados preliminares indican que, en la pampa semiárida, el impacto negativo de los CC en el agua almacenada podría ser insignificante y no se esperarían disminuciones significativas del rendimiento de cultivos de cosecha (Fernández et al., 2010), coincidiendo con experiencias en otros ambientes semiáridos (Fengrui et al., 2000).

En estas condiciones, el manejo eficiente de los nutrientes en la secuencia de cultivos comerciales y CC será crucial para compensar costos adicionales de CC. En este sentido, el N es especialmente importante debido a las múltiples pérdidas que pueden ocurrir durante los periodos de barbecho y de cultivo (Tonitto et al., 2006). Los CC contribuyen con la disponibilidad de N para los cultivos de cosecha (Sainju et al., 2006; Mohammadi, 2010; Restovich et al., 2012) pero aún existe incertidumbre acerca de la eficiencia de uso del N que se entrega a través de la mineralización de los residuos de los CC, y la sincronización entre la mineralización y la absorción del N por parte de la planta.

El principal objetivo de este trabajo fue determinar los efectos del centeno como CC y del manejo de la fertilización nitrogenada del mismo, sobre la producción de grano y absorción de N de un cultivo posterior de maíz en la región semiárida pampeana de Argentina.

Materiales y métodos

Se llevó a cabo un experimento a campo en la Estación Experimental del INTA Anguil, La Pampa, Argentina (latitud: 36° 31' 00" S y longitud: 64° 01' 00" W). Los tratamientos consistieron en barbecho sin CC y sin aplicación de N, y uso de CC con distintas combinaciones de N aplicado al CC y/o al maíz (**Tabla 1**). El diseño experimental fue en bloques completos al azar con 5 repeticiones, con parcelas de 10 x 5 m.

El 12 de abril de 2010 se sembró centeno (*Secale cereale* var. Quehué) como CC, con una densidad de 200 plantas m⁻². El N para el CC se aplicó como una solución de urea y nitrato de amonio (UAN, 32% N) en la etapa de Zadoks 21 del cultivo. Posteriormente al secado químico del centeno en octubre, se sembró maíz el 2 de diciembre de 2010 sobre las mismas parcelas. El N para el maíz se aplicó el 3 de enero de 2011 al estado de V6, también en forma de UAN (32% N).

El agua útil (AU) y el contenido de N como nitratos (N-NO₃⁻) fueron determinados en 6 momentos durante los ciclos de los cultivos: i) siembra del CC, ii) encañazón del CC, iii) secado del CC, iv) estadio de 6 hojas del maíz, v) floración del maíz, y vi) madurez fisiológica del maíz. La humedad del suelo se determinó por peso en intervalos de 0.2 m de profundidad a una profundidad de suelo total de 1.4 m en el CC y 2.0 m en maíz. Se determinó la densidad aparente (Dap) para cada intervalo de profundidad utilizando cilindros de acero de volumen

Tabla 1. Esquema de los tratamientos de fertilización nitrogenada aplicados en el cultivo de cobertura (CC) y maíz. Campaña 2010/11. EEA INTA Anguil.

Tratamiento	CC	Maíz	Total
	----- N (kg ha ⁻¹) -----		
Sin CC	0	0	0
N0	0	0	0
N40	40	0	40
N80	80	0	80
N100	40	60	100
N200	80	120	200

¹ INTA Anguil. Ruta 5 km 580. Anguil, La Pampa, Argentina.

² Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

³ Departamento de Desarrollo- Bunge Argentina S.A.

conocido. Los contenidos de humedad de suelo fueron convertidos en AU en mm, teniendo en cuenta la profundidad, la Dap y sumando todas las capas. El contenido de $N-NO_3^-$ se determinó en intervalos de 0.2 m hasta 1.0 m, mediante la técnica colorimétrica de ácido cromo-trópico y considerando la Dap de cada intervalo de profundidad.

Se determinó la materia seca aérea del CC (MS) en tres momentos (julio, agosto y octubre), cortando el material vegetal en un área de 0.25 m² a nivel del suelo y determinando su peso seco. Por otro lado, se evaluó la materia seca de residuo del CC recogiendo la cantidad total de residuos en un área de 0.25 m² en la siembra y la cosecha del maíz. Se determinó el contenido de C por combustión seca (LECO analizador, modelo CR-12), el contenido de N (método de Kjeldahl semi-micro) y el contenido de P total (mediante emisión atómica espectrometría acoplados por plasma inductivo) en la MS del CC y en los residuos.

Para los distintos tratamientos, se determinaron la eficiencia agronómica (EA) de uso del N, estimada como el cociente entre la respuesta a N en producción de MS del CC o de rendimiento de maíz y la dosis de N aplicada, y la productividad parcial del N (PPN), estimada como el cociente entre el rendimiento en grano de maíz y la dosis de N aplicada (Dobermann, 2007).

Los resultados fueron analizados estadísticamente a través de análisis de varianza y prueba de LSD a $\alpha < 0.01$ con el software Infostat.

Resultados y discusión

El contenido de agua útil durante el ciclo de ambos cultivos se mantuvo por encima del 40% en los primeros 140 cm del perfil de suelo. Se registró el máximo contenido de agua útil a la siembra de maíz y el menor en floración del mismo (**Tabla 2**).

Durante la temporada de crecimiento del CC, el $N-NO_3^-$ en el suelo no mostró diferencias entre CC N0 y CC N80 (**Tabla 3**), indicando que el N del fertilizante aplicado fue absorbido por el cultivo y/o inmovilizado en fracciones orgánicas. El contenido de $N-NO_3^-$ aumentó de 34 hasta 112 kg N ha⁻¹ en el tratamiento sin fertilizar, lo cual indica que durante el periodo de crecimiento del CC ocurrió una importante mineralización de N del suelo.

La respuesta en producción de MS aérea del CC a la fertilización con N fue significativa para el tratamiento de N80 en los muestreos de agosto y octubre, con una diferencia final de 1592 kg MS ha⁻¹ respecto de N0 (**Tabla 4**). Las diferencias entre N0 y N40 no fueron significativas, al igual que entre las dosis de 40 y 80 kg de N ha⁻¹. La respuesta en rendimiento que se observó en el tratamiento N80 representó una EA del N de 19.9 kg MS por kg N ha⁻¹.

Tabla 2. Contenido de agua útil del suelo en cultivos de cobertura (CC) sin fertilizar (N0) y fertilizados (N80).

Tratamiento	Agua útil (mm) 0-140 cm				
	Siembra CC	Encañazón del CC	Siembra maíz	Floración maíz	Madurez fisiológica maíz
N0		65	114	59	73
N80	85	55	115	43	62

Tabla 3. Contenido total de $N-NO_3^-$ del suelo en cultivos de cobertura (CC) sin fertilizar (N0) y fertilizados (N80).

Tratamiento	$N-NO_3^-$ (kg ha ⁻¹) 0-100 cm				
	Siembra CC	Encañazón del CC	Siembra maíz	Δ Siembra CC - Encañazón CC	Δ Encañazón CC - siembra maíz
N0		53 a	112 a	19 a	59 a
N80	34	44 a	123 a	12 a	78 a

Tabla 4. Materia seca aérea (MS) del cultivo de cobertura (CC) durante el ciclo de crecimiento (julio y agosto) y secado (octubre) en tratamientos con 0, 40 y 80 kg N ha⁻¹ aplicado como fertilizante.

Tratamiento	Materia seca aérea (kg MS ha ⁻¹)		
	Julio	Agosto	Octubre
N0	2830 a	3866 b	5464 b
N40	3081 a	4736 ab	5868 ab
N80	3526 a	4956 a	7056 a

Las concentraciones de C, N y P en la MS no fueron diferentes entre tratamientos (datos no mostrados), por lo que las diferencias encontradas en la producción de biomasa entre los tratamientos se reflejaron en los contenidos totales de C, N y P en la MS del CC. Los contenidos de C, N y P fueron significativamente mayores en N80 comparado con N0, no observándose diferencias entre N0 y N40 y entre N40 y N80 (**Tabla 5**).

Si se asume que el N contenido en la biomasa del CC en el tratamiento N0 fue aportado por la cantidad de N disponible a la siembra del CC y la mineralización de N de la materia orgánica del suelo durante su crecimiento,

el suelo proporcionaría alrededor de 60 kg N ha⁻¹ para el centeno.

Las recuperaciones de N del fertilizante por el CC al momento del secado, se estiman en 45% y 43% para N40 y N80, respectivamente, considerando las diferencias de N acumulado entre estos tratamientos y el N0, y las dosis de N aplicadas.

En V6 del cultivo de maíz se encontró que la MS del residuo del centeno había disminuido con respecto a la cantidad al momento de secado (**Tabla 6**). También se encontraron importantes pérdidas de MS del residuo, C,

N y P desde el estado V6 a cosecha del maíz. Las diferencias observadas entre el secado del CC y la cosecha de maíz fueron de 1076, 1442 y 1620 kg C ha⁻¹; 38, 44 y 50 kg N ha⁻¹; 8.5, 9.5 y 11,2 kg P ha⁻¹ para N0, N40 y N80, respectivamente. Esto implicaría que los residuos del centeno habrían proporcionado al maíz entre 38 y 50 kg N ha⁻¹ y entre 8 y 11 kg P ha⁻¹.

La inclusión del CC (comparación Sin CC vs. N0) mostró una tendencia positiva aunque no significativa en el rendimiento del maíz (**Figura 1**). El N aplicado en el CC (comparación entre tratamientos N0, N40 y N80) incrementó significativamente el rendimiento de maíz. La aplicación de N en el cultivo de maíz resultó en diferencias significativas en rendimiento del cultivo (comparaciones N40 vs. N100 y N80 vs. N200). Sin embargo, no se observaron diferencias en rendimiento del maíz comparando la aplicación de 80 kg N ha⁻¹ en el CC con la aplicación de 40 kg N ha⁻¹ en el CC más 60 kg N ha⁻¹ en el maíz (comparación N80 vs. N100).

El N aplicado al CC (**Tabla 7**) fue muy eficiente en términos de mejora de la producción de grano de maíz con

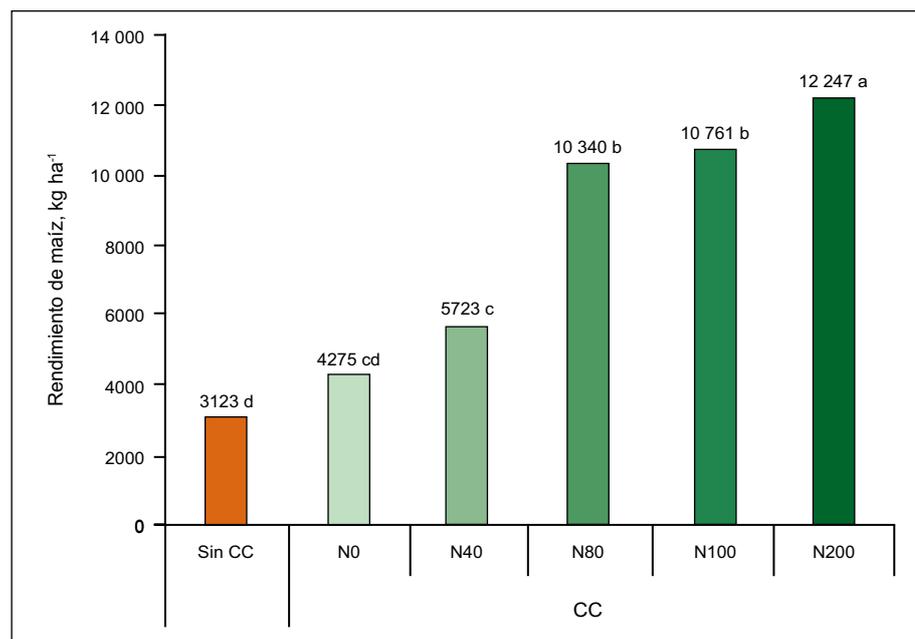


Figura 1. Rendimiento de grano de maíz en respuesta a diferentes dosis de N aplicado al cultivo de cobertura (CC) y al maíz.

Tabla 5. Contenido total de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) en la materia seca del cultivo de cobertura al momento de secado, en los tratamientos 0, 40 y 80 kg N ha⁻¹ aplicado como fertilizante.

Tratamiento	kg ha ⁻¹		
	C	N	P
N0	2358 b	60.4 b	10.0 b
N40	2521 ab	78.4 ab	12.0 ab
N80	3085 a	94.8 a	13.8 a

Tabla 6. Materia seca (MS) y contenido de nutrientes en el residuo de CC, al estado de 6 hojas de maíz (V6) y a la cosecha del cultivo de maíz.

Tratamiento	MS		C		N		P	
	V6	Cosecha	V6	Cosecha	V6	Cosecha	V6	Cosecha
	kg ha ⁻¹							
N0	3018 b	2372 b	1215 b	916 b	25.2 b	22.3 b	3.65 b	1.50 b
N40	4642 a	3579 a	1911 a	1445 a	47.5 a	34.8 a	6.28 a	2.50 a
N80	4649 a	3755 a	1911 a	1465 a	48.8 a	44.6 a	6.08 a	2.60 a

Tabla 7. Eficiencia agronómica (EA) del N del fertilizante aplicado en el cultivo de cobertura (CC) o en el maíz, para los distintos tratamientos evaluados con CC.

Tratamiento	N total aplicado (kg N ha ⁻¹)	EA del N total aplicado (kg grano kg ⁻¹ N aplicado)	Productividad parcial de N (kg grano kg ⁻¹ N)	Respuesta en rendimiento a la fertilización con N del maíz (kg grano ha ⁻¹)	EA del N aplicado en maíz (kg grano Kg ⁻¹ N aplicado)
N40	40	36 b	143	-	-
N80	80	76 a	129	-	-
N100	100	64 a	108	5038 a	84 a
N200	200	40 b	61	1907 b	16 b

Tabla 8. Balance aparente de N en maíz para los diferentes tratamientos.

	Sin CC	N0	N40	N80	N40+60	N80+120
	----- kg N ha ⁻¹ -----					
Contribución del CC	0	38	44	50	44	50
Fertilización	0	0	0	0	60	120
Oferta N suelo	69	69	69	69	69	69
Suministro total de N	69	107	113	119	173	239
Absorción total	69	94	126	228	237	269
Diferencia entre suministro y absorción	0	13	-13	-109	-64	-30

una EA de 76 kg grano kg⁻¹ N para el tratamiento N80, y muy efectivo en producción del cultivo con una PPN de 129 kg grano kg⁻¹ N para el mismo tratamiento N80. El tratamiento N100, 40 kg N ha⁻¹ al CC más 60 kg ha⁻¹ al maíz, también alcanzo niveles semejantes de EA y aceptables de PPN (García y Salvagiotti, 2009). Esto indicaría que las dosis óptimas de N para el maíz en rotación en este suelo podrían estar entre 80 y 100 kg ha⁻¹.

El N suministrado por la mineralización de los residuos del CC estuvo aparentemente disponible para el cultivo de maíz, como se muestra en las respuestas de rendimiento. Experiencias similares se encontraron en maíz de regadío (Mohammadi, 2010) sorgo y algodón en las grandes llanuras de los Estados Unidos (Sainju et al., 2006), donde el efecto del CC se encontró principalmente relacionado con la retención de nitratos reduciendo o evitando las pérdidas de lixiviación.

Con el fin de comparar el balance aparente de N en maíz de los diferentes tratamientos, se determinó la absorción de N total del cultivo estimando un requerimiento promedio de 22 kg N Mg⁻¹ rendimiento de maíz. El suministro total de N aparente se calculó con la cantidad de N mineralizado de la materia seca del CC (Tabla 6), el N aplicado como fertilizante para el cultivo de maíz y la oferta de N del suelo (N disponible a la siembra más mineralización durante el ciclo del cultivo) (Tabla 8). Un importante supuesto en la estimación

de estos balances aparentes de N es que la oferta de N del suelo se estimó a partir del rendimiento del maíz en el tratamiento sin CC y sin N. Las diferencias positivas entre el suministro total de N y la absorción de N del maíz, indicarían un exceso de oferta de N que se puede traducir en la acumulación de N-NO₃⁻ en el suelo a cosecha o en pérdidas durante el ciclo del cultivo (lavado, desnitrificación). Diferencias negativas entre el suministro y la absorción indicarían una mayor oferta de N del suelo no determinada a través de las mediciones efectuadas durante el experimento, quedando incluidas en el error experimental.

Los resultados del balance aparente indican que el N derivado del residuo fue una importante fuente para maíz en los tratamientos de CC, contribuyendo en un 36% al suministro total de N para el maíz (comparación tratamientos Sin CC vs. N0) (Tabla 8).

La diferencia marcadamente negativa entre el suministro de N estimado y la absorción de N del cultivo en el tratamiento N80, y de menor nivel en los tratamientos N40+60 y N80+120, indica que el planteo experimental no fue adecuado como para determinar todas las fuentes de N disponibles para el maíz. Estas fuentes adicionales de N para el maíz pudieron provenir del N del fertilizante no absorbido por el CC y/o de una mayor mineralización de N orgánico del suelo debido a la aplicación de N.

Conclusiones

Los resultados de este experimento mostraron que la inclusión del centeno como CC resultó una práctica positiva en el reciclaje de N para el cultivo de maíz posterior. La mayor proporción del N del centeno sirvió como suministro del nutriente para el cultivo de maíz. La respuesta en rendimiento de maíz para el N aplicado al CC fue significativa para la dosis de 80 kg N ha⁻¹, y las mayores EA de N se lograron con esta dosis aplicada al CC y en la aplicación dividida de 40 y 60 kg N ha⁻¹ al CC y al maíz, respectivamente. El N proveniente del residuo representó una importante contribución a la absorción de N para maíz, concluyendo que la fertilización nitrogenada del centeno como CC podría ser una práctica de utilidad para mejorar la disponibilidad de N en maíz.

Bibliografía

- Abdin, O.A., X.M. Zhou, D. Cloutier, D.C. Coulman, M.A. Faris, y D.L. Smith. 2000. Cover crops and interrow tillage for weed control in short season maize (*Zea mays*). *European Journal of Agronomy*, 12:93-102.
- Dinesh, R. 2004. Long-term influence of leguminous cover crops on the biochemical properties of a sandy clay loam Fluventic Sulfaquent in a humid tropical region of India. *Soil and Tillage Research*, 77(1):69-77. doi:10.1016/j.still.2003.11.001
- Ding, G., X. Liu, S. Herbert, J. Novak, D. Amarasiriwardena, y B. & Xing. 2006. Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma*, 130(3-4):229-239. doi:10.1016/j.geoderma.2005.01.019
- Dobermann, A. 2007. Nutrient Use Efficiency – Measurement and management. IFA International Workshop on fertilizer best management practices. 7-9 March, Brussels, Belgium.
- Fengrui, L., Z. Songling, y G.T. Geballe. 2000. Water use patterns and agronomic performance for some cropping systems with and without fallow crops in a semi-arid environment of northwest China. *Environment*, 79:129-142.
- Fernández, R., M. Saks, J. Arguello, A. Quiroga, y E. Noellemeyer. 2010. Cultivo de cobertura, ¿una alternativa viable para la región semiárida pampeana? Reunión Técnica SUCS -ISTRO, Colonia, Uruguay, 11:1-6.
- Follett, R.F. 2001. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil and Tillage Research*, 61:77-92.
- Franzluebbers, A., y J. Stuedemann. 2008. Soil physical responses to cattle grazing cover crops under conventional and no tillage in the Southern Piedmont USA. *Soil and Tillage Research*, 100(1-2):141-153. doi:10.1016/j.still.2008.05.011
- García, F., y F. Salvagiotti. 2009. Eficiencia de uso de nutrientes en sistemas agrícolas del Cono Sur de Latinoamérica. In J. Espinosa y F. García (ed.). *Memorias del Simposio “Uso eficiente de nutrientes”*. XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. pp. 37-48.
- Gerowitt, B. 2003. Development and control of weeds in arable farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1-3):247-254. doi:10.1016/S0167-8809(03)00084-7
- Mohammadi, G.R. 2010. The effects of different autumn-seeded cover crops on subsequent irrigated corn response to nitrogen fertilizer. *Agricultural Sciences*, 01(03):148-153. doi:10.4236/as.2010.13018
- Petersen, S.O., J.K. Mutegi, E.M. Hansen, y L.J. Munkholm. 2011. Tillage effects on N₂O emissions as influenced by a winter cover crop. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(7):1509-1517. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.soilbio.2011.03.028
- Ranells, N.N., y M.G. Wagger. 1997. Winter annual grass-legume bicultures for efficient nitrogen management in no-till corn. *Ecosystems*, 65:23-32.
- Restovich, S. B., A.E. Andriulo, y S.I. Portela. 2012. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Research*, 128:62-70. doi:10.1016/j.fcr.2011.12.012
- Sainju, U., W. Whitehead, B. Singh, y S. Wang. 2006. Tillage, cover crops, and nitrogen fertilization effects on soil nitrogen and cotton and sorghum yields. *European Journal of Agronomy*, 25(4):372-382. doi:10.1016/j.eja.2006.07.005
- Tonitto, C., M. David, y L. Drinkwater. 2006. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: A meta-analysis of crop yield and N dynamics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(1):58-72. doi:10.1016/j.agee.2005.07.003. *

