EFICIENCIA DE RECUPERACION DEL NITROGENO APLICADO AL ESTADIO DE SEIS HOJAS DEL MAIZ BAJO RIEGO EN SIEMBRA DIRECTA Y LABRANZA CONVENCIONAL

HE ECHEVERRIA(1), HR SAINZ ROZAS(2)

¹ Unidad integrada Facultad de Ciencias Agrarias (U.N.M.P.)-Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (I.N.T.A.), Balcarce, C.C. 276, (7620), Buenos Aires, Argentina. Email: hecheverr@balcarce.inta. gov. ar. ² Facultad de Agronomía (UNCBA).

Recibido 25 de septiembre de 2000, aceptado 7 de febrero de 2001

NITROGEN RECOVERY EFFICIENCY FOR FERTILIZATIONS AT SIX-LEAF STAGE OF MAIZE IRRIGATED UNDER NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL TILLAGE

In the southeastern of Buenos Aires province exists little information about of nitrogen recovery efficiency in irrigated maize crops under no-tillage (SD) and conventional tillage (LC) fertilized at six leaves stage (V6). A field experiment was carried out from 1996/97 to 1997/98 growing seasons in which the treatments were different tillage systems and nitrogen rates (0, 70, 140 and 210 kg ha⁻¹) as urea, which was spread on soil surface at V6. In both years, maize grain yield was significantly increased by nitrogen rate and it was greater under LC than SD (10776 and 9080 kg ha⁻¹, average of nitrogen rate and years). Conventional tillage increased grain yield by a greater nitrogen availability, because a high relationship (r²=0.86) between grain yield and accumulated nitrogen at physiological maturity was observed. Nitrogen recovery efficiency as determined by difference method was 55 and 61% of nitrogen applied for SD and LC, respectively (average of nitrogen rate and years), which was not significantly different. In the 1997/98 growing season denitrification losses for nitrogen rate of 210 kg ha⁻¹ and nitrogen immobilization by soil microbial biomass were similar for both tillage system, and supports the idea that nitrogen losses and apparent nitrogen recovery efficiency are similar under SD and LC, if this nutrient is applied at V6. The greater nitrogen availability under LC was due to a greater nitrogen mineralization during the growing season.

Key words: Maize, Conventional tillage, No-tillage, Nitrogen recovery efficiency.

INTRODUCCION

En los últimos años se ha producido un incremento en la superficie dedicada a la agricultura en la Argentina, consecuencia de una mejora en los precios de los productos agrícolas con respecto a los ganaderos. Este incremento de la superficie agrícola junto con la mayor tecnología aplicada en los cultivos, ha provocado un uso más intenso del recurso suelo. Cuando los sistemas de labranza empleados son los denominados de tipo convencional (arado de rejas y rastra de discos), al no existir protección superficial del suelo, se pueden presentar problemas de degradación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Estas condiciones se asocian con un menor aprovechamiento del agua, daños por erosión, y como consecuencia, una tendencia declinante en los rendimientos de los cultivos (Marelli, 1995).

En el partido de Balcarce, en dicho

período, se ha producido un incremento en la superficie agrícola destinada al cultivo de maíz, debido a la introducción de híbridos de ciclo corto o intermedios mejor adaptados a la zona y a las favorables condiciones ambientales para dicho cultivo. Por lo tanto, en zonas como la del partido de Balcarce, la cual presenta un relieve ondulado y lluvias de gran erosividad en primavera, el aumento en el área destinada a la producción de cultivos de verano como el maíz, junto con la utilización de labranzas convencionales (LC) que refinan el suelo y lo dejan sin rastrojo en superficie, pueden crear condiciones predisponentes para la erosión hídrica (Studdert, Echeverría 2000). En este contexto, la utilización de labranzas conservacionistas como la siembra directa (SD). la cual proporciona una elevada cobertura de rastrojos y no remueve el suelo, permitiría hacer un uso más intenso del mismo minimizando el riesgo de degradación.

La SD altera los procesos del ciclo biológico del nitrógeno en el suelo. La mineralización del nitrógeno orgánico es menor debido a una más baja temperatura y menor accesibilidad de los microorganismos al compartimento orgánico (Rice, Havlin 1994). Por otra parte, para aplicaciones de nitrógeno realizadas al momento de la siembra, se han reportado mayores pérdidas por lixiviación de nitratos y desnitrificación en suelos bajo SD que en LC (Thomas et al. 1973, Linn y Doran 1984). Además, comparado a sistemas de labranzas de tipo convencionales, la presencia de residuos en superficie de alta relación carbono/nitrógeno, incrementa la inmovilización de nitrógeno del fertilizante por parte de la biomasa microbiana del suelo (Kitur et al. 1984). Por último, cuando fertilizantes que generan amonio como la urea son aplicados en superficie en suelos bajo SD, se pueden producir significativas pérdidas por volatilización de amoníaco (Keller, Mengel 1986, Fox, Piekielek 1993).

En síntesis, la menor mineralización neta de nitrógeno y la mayor intensidad de dichos mecanismos de pérdida en suelos bajo SD con respecto a aquellos bajo LC, generalmente disminuyen la disponibilidad de este nutriente en el suelo, y en consecuencia, cuando son utilizadas dosis subóptimas de este nutriente, cultivos de maíz bajo SD muestran una menor acumulación de nitrógeno y un menor rendimiento en grano respecto a aquellos bajo LC (Meisinger et al. 1985).

Por otra parte, la aplicación de nitrógeno al estadío de seis hojas (V6) (Ritchie y Hanway 1982) en cultivos de maíz bajo SD, provoca una mayor acumulación de nitrógeno y rendimiento en grano respecto de la fertilización realizada al momento de la siembra (Fox et al. 1986, Sainz Rozas et al. 1999). Este comportamiento puede ser atribuido a la existencia de menores pérdidas de nitrógeno por desnitrificación y lavado de nitratos, debido a que luego de V6 se produce un sustancial incremento en la evapotranspiración, provocando una disminución de la intensidad de dichos procesos (Aulack et al. 1992, Jeminson et al. 1994). Además, una menor inmovilización de nitrógeno en formas orgánicas ha sido reportada para fertilizaciones realizadas en V6 respecto de aquellas realizadas

al momento de la siembra (Jokela, Randall 1997), comportamiento que puede ser atribuido a un menor contenido de agua del suelo, a una mayor acumulación de nitrógeno por el cultivo y/o a una mayor velocidad de nitrificación (Sainz Rozas et al. 1999), condición que mejora la competencia microorganismos-cultivo a favor de este último (Schimel et al. 1989).

En síntesis, los antecedentes expuestos permíten hipotetizar que la fertilización al estadío de V6, al disminuir la intensidad de los procesos de pérdída de nitrógeno desde el suelo, determina que la eficiencia de recuperación de nitrógeno (ERN) del fertilizante en SD sea similar a la observada en LC.

Los objetivos del trabajo fueron determinar en función de distintas dosis de nitrógeno (aplicadas en V6) y sistemas de labranza (SD y LC): i) la acumulación de nitrógeno y el rendimiento del cultivo de maíz, ii) la ERN aparente del fertilizante, iii) el contenido de nitrógeno mineral al inició y al final de la estación de crecimiento, iv) el nitrógeno inmovilizado en la biomasa microbiana y v) la determinación de las pérdidas de nitrógeno por desnitrificación en SD y LC.

MATERIALES Y METODOS

Durante las campañas 1996/1997 y 1997/ 1998 se realizó un experimento en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce, Argentina (37° 45' S, 58° 18' W, 130 m sobre el nivel del mar). El diseño experimental fue en parcelas divididas con tres repeticiones en bloques completos aleatorizados, en el cual el sistema de labranza (SD y LC) fue asignado a la parcela principal y la dosis de nitrógeno (0, 70, 140 y 210 kg ha⁻¹, aplicados en V6) a las subparcelas, las cuales fueron de 42 m² (5 surcos de ancho por 12 m de largo). El híbrido utilizado en este experimento fue el Dekalb 639 el cual fue sembrado el 20 y 23 de Octubre en 1996/97 y 1997/ 98, respectivamente. La densidad de siembra fue de 79.000 y 74.300 en 1996/97 y 1997/98, respectivamente.

El suelo de este experimento es un complejo formado por un Argiudol Típico y un Paleudol Petrocálcico el cual presenta un horizonte superficial (0-20 cm) de textura franca con 56 g kg⁻¹ de materia orgánica. Este suelo tiene una larga historia agrícola en LC (mas de 7 años) y en 1996/97 el suelo fue roturado para establecer las parcelas en LC, teniendo el mismo una historia de un año de soja y dos de maíz bajo SD. En ambos años las labranzas comenzaron tres meses antes de la siembra con una

pasada de arado de rejas y en presiembra se empleó disco y disco más rastra y rolo. El barbecho químico en SD fue realizado con una aplicación de 2-4, D más glifosato. Durante el ciclo del cultivo las malezas e insectos fueron adecuadamente controlados con productos y dosis habitualmente recomendados para el maíz. La fuente de nitrógeno utilizada fue urea, la cual fue aplicada al voleo en superficie al estadío de V6. El cultivo se condujo sin limitaciones de agua mediante riego por aspersión. Además. el experimento fue conducido sin limitaciones de fósforo, para lo cual en ambos años se aplicaron 20 kg P ha¹ como superfosfato triple de calcio, en bandas abajo y al costado de la semilla.

En 1996/97 los análisis de suelo se realizaron en presiembra y a los 151 días desde la emergencia (dde) (madurez fisiológica). En 1997/98 los análisis se realizaron en presiembra y a los 152 dde (madurez fisiológica). El muestreo en presiembra y a la madurez del cultivo se realizó hasta los 100 cm. Para ello se tomaron 9 submuestras de los primeros 5 cm de cada unidad experimental, 6 de los 5-20 cm y 3 de los 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm. Las muestras fueron conservadas a 5°C y luego tamizadas por 4,8 mm. Para la determinación de N-NO, y N-NH, se realizó la extracción con K, SO, (0,5 M) en una relación suelo: solución extractora de 1:4. La determinación de N-NO₃· y N-NH₄ * se realizó por microdestilación por arrastre de vapor y posterior titulación con H,SO, 0,005 N (Bremner, Keeney 1966).

En ambos años, el nitrógeno en la biomasa microbiana (NBM) se determinó en madurez fisiológica en las profundidades de 0 a 5 y 5 a 20 cm y los resultados obtenidos en las distintas profundidades fueron corregidos por la densidad aparente del suelo y sumados para finalmente

expresarlo en kg ha⁻¹ hasta los 20 cm. El método utilizado para la determinación del NBM fue el de fumigación-extracción (Brookes *et al.* 1985) y se calculó como:

NBM= (F-NF)/kn

donde $F=N-NH_4^+$ liberado por la muestra fumigada con cloroformo, $NF=N-NH_4^+$ liberado por la muestra sin fumigar y $k_n=0.47$ (Ferrari *et al.* 1992-1993). La muestra fumigada resultó de la exposición del suelo a vapores de cloroformo, en un desecador durante 18-24h, para luego realizar una extracción con K_2SO_4 (0,5 M) en una relación suelo:solución extractora de 1:4. Quince ml del extracto fueron posteriormente digeridos con 5 ml de H_2SO_4 concentrado y 0,3 ml H_2SO_4 concent

Para la determinación del nitrógeno acumulado por el cultivo, diez plantas de maíz fueron cortadas al nivel del suelo en V6, 15 días antes de la floración (pref), 15 días después de la floración (posf) y en madurez fisiológica (MF). En pref las plantas se separaron en láminas y tallos, mientras que en posf las mismas se separaron en tallos, laminas y espigas. En MF las plantas se separaron en lámina, grano, marlo y resto. Las muestras fueron secadas a 60 °C hasta peso constante en cámara de aire forzado, pesadas y molidas, hasta pasar por tamiz de 1 mm de malla. El nitrógeno reducido fue determinado en cada fecha de muestreo siguiendo el método (sin ácido salicilico) reportado por Nelson y Sommers (1973). El nitrógeno acumulado en cada fecha de muestreo fue calculado como el producto de la concentración de nitrógeno en cada órgano por

Tabla 1. Precipitaciones y riegos, medias mensuales de temperatura y radiación incidente en las estaciones de crecimiento 1996/97 y 1997/98.

Table 1. Rainfall and irrigation, and temperature and incident radiation monthly means for 1996/97 and 1997/98 growing seasons.

Mes	1996/97				1997/98			
	₽†	R‡	T§	RI [¶]	Pf	R‡	T§	RI¶
	· m	ım	°C MJ m ⁻²		mm		°C	MJ m ⁻²
Octubre (siembra)	176		14,2	18,6	88		13,2	18,3
Noviembre	89		17,0	22,0	109	,	15,7	22,0
Diciembre .	116		19,0	22,9	86	15	17,1	23,0
Enero (floración)	100	130	22,3	24,4	124	45	19,7	24,9
Febrero	119		18,6	22,0	49	40	18,2	19,6
Marzo (madurez)	55		18,0	16,5	24		18,1	17,3
Total	79	94	-		58	30	-	-

T-P= precipitaciones

[§] T= temperatura media mensual del aire.

[‡]R= riego

[¶] RI= radiación incidente media mensual

su peso seco.

La ERN aparente (%) se calculó como: ERN= (NPF-NPT) x 100 / DN

donde NPF= nitrógeno acumulado en planta del tratamiento fertilizado, NPT= nitrógeno acumulado en planta del tratamiento sin nitrógeno y DN= dosis de nitrógeno del tratamiento fertilizado

Las pérdidas por desnitrificación fueron evaluadas en la estación de crecimiento 1997/98 en las parcelas que recibieron 210 kg de N ha-1 en SD y LC, cada 7 a 15 días y después de la realización de un riego o la ocurrencia de una precipitación. Se empleo el método de la inhibición por acetileno (Yoshinari et al. 1977). De cada unidad experimental se recogieron seis cilíndros de suelo de 4.4 cm de diámetro por 13 cm de largo los cuales fueron llevados al laboratorio, sellados e incubados con acetileno por 24 hs a temperatura ambiente. De cada cilindro se extrajo un volumen de 10 ml el cual fue almacenado en recipientes bajo vacío, para posteriormente determinar la concentración de N-N,O. La concentración de N-N,O fue cuantificada en un cromatógrafo de fase gaseosa (Hewlett Packard 5809). Se calcularon las tasas de desnitrificación diarias, las cuales fueron expresadas en gramos por hectárea usando la densidad aparente del suelo y la profundidad de muestreo. Las pérdidas acumuladas de N-N,O se estimaron a partir de las medias de tratamientos empleando la regla de Simpson (Bronson et al. 1992). En cada muestreo de desnitrificación fueron extraidas dos muestras de suelo al lado de cada cilindro para la determinación del espacio poroso lleno con agua (PLA) y la porosidad total (PT):

PLA=(humedad gravimétrica x densidad aparente / porosidad total)

PT= [1 - (densidad aparente / 2,65)]

En la cosecha, 7,15 m de los dos surcos centrales fueron cosechados a mano para determinar el rendimiento en grano. Los valores de rendimiento son reportados al 14% de humedad.

El análisis de los resultados fue realizado usando el procedimiento GLM incluido en las rutinas del programa Statistical Analysis Systems (SAS) (SAS Institute Inc, 1985). Diferencias mínimas significativas (DMS) al 0,05 fueron calculadas cuando el análisis de la varianza de los efectos principales o su interacción fue significativo. Debido a que no se detectó falta de normalidad en la población de datos por medio del test de Shapiro y Wilk (1965), las tasas diarias de desnitrificación no fueron transformadas antes de su análisis.

RESULTADOS Y DISCUSION

La disponibilidad de agua no limitó el rendimiento del maíz en la estación de crecimiento 1996/97 debido a que las precipitaciones ocurridas y los riegos efectuados superaron ampliamente la evapotranspiración del cultivo de maíz determinada para la zona (530 mm) por Andrade y Gardiol (1995) (Tabla I). Sin embargo, en 1997/98 la disponibilidad de agua durante el período de llenado de granos, meses de febrero y marzo, podría haber limitado ligeramente el rendimiento en dicha estación

Tabla 2. Rendimiento del cultivo de maíz irrigado en 1996/97 y 1997/98 en función de distintas dosis de nitrógeno y sistemas de labranza.

Table 2. Grain yield of irrigated maize in 1996/97 and 1997/98 growing seasons as a function of different nitrogen rates and tillage systems.

	Rendimiento en grano							
	1996	5/97	1997/98 Sistema de labranza					
Dosis de nitrógeno	Sistema de	e labranza						
	SD [†]	LC	SD [†]	LC†				
		-kg ha ⁻¹						
0	6710	8868	6374	7350				
70	8980	11222	8308	9724				
140	9783	13036	9762	11525				
210	11094	13143	11629	11346				
Fuente de variación	Análisis de la varianza							
	. 1996	6/97	1997/98					
		P						
Nitrógeno (N)	0,00	001	0,0001					
Labranza (L)	0,0	490	0,0954					
N*L	0,7	156	0,27	772				

^{*}SD= siembra directa; LC= labranza convencional.

de crecimiento, ya que las condiciones térmicas y de radiación incidente fueron similares en ambas estaciones de crecimiento (Tabla 1).

El rendimiento en grano se incrementó significativamente por la fertilización con nitrógeno en 1996/97, y el mismo fue mayor bajo LC que bajo SD (Tabla 2). En 1997/98, el rendimiento en grano se incrementó significativamente con la dosis de nitrógeno y el mismo fue mayor en LC que en SD en el tratamiento testigo, 70 y 140 kg de N ha-1. Por el contrario, el rendimiento bajo SD fue mayor que en LC para la dosis de 210 kg de N ha-1, aunque en dicho año la interacción entre la dosis de N y el sistema de labranza no fue significativa (Tabla 2). Este comportamiento podría ser debido a que la menor disponibilidad de agua en 1997/98 habría provocado una mayor reducción del rendimiento en LC que en SD, ya que el contenido de agua en el suelo al momento de la siembra, es generalmente menor en suelos bajo LC que en aquellos bajo SD (Dominguez et al. 2000).

En ambas estaciones de crecimiento el nitrógeno acumulado en biomasa aérea en madurez fisiológica (MF) se incrementó con la dosis de nitrógeno y fue mayor en LC que en SD. Por lo tanto, el mayor rendimiento observado en LC fue debido a la mayor disponibilidad de nitrógeno, ya que se observó

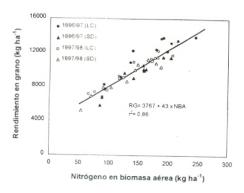
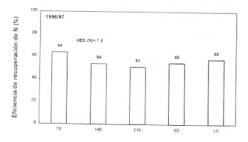


Figura 1. Relación entre el rendimiento en grano (RG) y el nitrógeno acumulado en biomasa aérea (NBA) en madurez fisiológica. SD= siembra directa; LC= labranza convencional.

Figure 1. Relationship between grain yield (RG) and accumulated nitrogen in aerial biomass (NBA) at physiological maturity. SD= no-tillage; LC= conventional tillage.

una estrecha asociación entre el rendimiento en grano y el nitrógeno acumulado en biomasa aérea en MF (Figura 1). Estos resultados coinciden con aquellos reportados por Meisinger et al. (1985) y Dominguez et al. (2000), quienes han informado una menor acumulación de nitrógeno en cultivos de maíz bajo SD respecto de aquellos bajo LC. Este comportamiento podría ser debido a una mayor intensidad de los distintos mecanismos de pérdida de nitrógeno para el cultivo (lavado, desnitrificación y/o inmovilización en formas orgánicas) en suelos bajo SD, o a una menor mineralización del nitrógeno orgánico.

La ERN del fertilizante, estimada a través del método de la diferencia en ambas estaciones de crecimiento, decreció con el in-



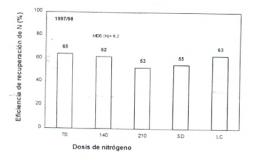


Figura 2. Eficiencia de recuperación de nitrógeno desde el fertilizante en función de la dosis de nitrógeno y el sistema de labranza en las estaciones de crecimiento 1996/97 y 1997/98. SD= siembra directa: LC= labranza convencional. MDS (N)= mínima diferencia significativa al 5% de probabilidad para la comparación de las dosis de nitrógeno.

Figure 2. Nitrogen recovery efficiency from fertilizer as affected by nitrogen rate and tillage system at 1996/97 and 1997/98 growing seasons. SD=no-tillage; LC= conventional tillage. MDS (N)= least significant difference at 5% for comparing nitrogen levels.

cremento de la dosis de nitrógeno (Figura 2). En ambos años, la ERN fue algo mayor en LC que en SD, pero dicha diferencia no fue significativa. La eficiencia de recuperación estimada con ¹⁵N en la dosis de 70 kg ha⁻¹ en 1996/97 siguió la misma tendencía (datos no mostrados). La ERN promedio de ambas estaciones de crecimiento y sistemas de labranzas, fue del 64, 58 y 52% para la dosis de nitrógeno de 70, 140 y 210 kg ha⁻¹, respectivamente.

Bigeriego et al. (1979), trabajando con aplicaciones al estadío de V6 en maíz bajo LC, informaron valores de ERN del 81, 64 y 48% para las dosis de 56, 112 y 168 kg N ha-1, respectivamente. Staley y Perry (1995). trabajando con aplicaciones al estadío de V6. reportaron valores de ERN del 58, 56 y 49% para dosis de 56, 112 y 224 kg N ha-1, respectivamente. Jokela y Randall (1997) trabajando en cultivos de maíz bajo LC, reportaron valores de ERN del 58 y 43% para dosis de 75 y 150 kg N ha-1 aplicadas en V8. Los resultados de este experimento y aquellos de la bibliografía muestran que elevados valores de eficiencia pueden ser obtenidos cuando el fertilizante es aplicado justo en el momento en que el cultivo de maíz comienza su más activo crecímiento e incrementa la acumulación de nitrógeno y la demanda de agua.

Para aplicaciones de nitrógeno realizadas al momento de la siembra, se han reportado mayores pérdidas por lixiviación de nitratos, desnitrificación y una mayor inmovilización de nitrógeno en formas orgánicas en suelos bajo SD, respecto de aquellos bajo LC (Thomas et al. 1973, Linn y Doran 1984, Kitur et al. 1984). Sin embargo, los resultados de este experimento muestran que similares pérdidas de nitrógeno para el cultivo ocurrieron cuando el mismo fue aplicado al estadío de V6, dado que la fracción del nitrógeno del fertilizante recuperada en la biomasa aérea fue similar en ambos sistemas de labranzas (Figura 2). En el mismo sentido, Staley y Perry (1995) informaron que la ERN en la biomasa aérea de cultivos de maíz bajo SD y LC fueron similares cuando dicho nutriente fue aplicado al estadío de V6.

La Figura 3 muestra la evolución de las pérdidas de nitrógeno por desnitrificación

desde las parcelas bajo SD y LC que recibieron 210 kg de N ha-1. En dicha Figura puede observarse que las tasas de desnitrificación (TD) fueron iguales en ambos sistemas de labranza y que una mayor TD en SD fue observada solamente en una fecha de muestreo (Figura 3a). Las TD siguieron el patrón de evolución del PLA, ya que las mismas aumentaron con el incremento en el PLA (Figura 3 a y b), y por lo tanto, sé observó una elevada relación entre las TD y el PLA (si PLA > 69% la TD de N-N $_2$ O $_{(gha-l d-1)}$ = -1380 + 20 PLA), el cual explicó el 62% de la varíación en las mísmas. Si bien las mayores TD observadas en SD respecto de LC han sido atribuidas principalmente al mayor contenido de agua de los suelos bajo SD (Linn, Doran 1984), estos resultados muestran que luego de V6 la mayor demanda de agua por parte del cultivo, disminuye marcadamente el contenído de humedad del suelo en ambos sistemas de

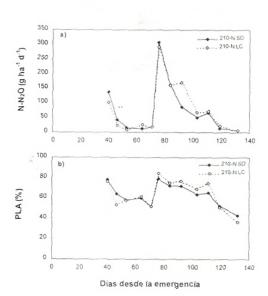


Figura 3. Pérdida de nitrógeno por desnitrificación (a) y evolución del porcentaje de poros Ilenos con agua (PLA) (b) en la estación de crecimiento 1997/98. Los asteriscos indican diferencias significativas entre sistemas de labranzas al 5% de probabilidad según el test de t.

Figure 3. Denitrification N losses (a) and evolution of water filled pore space (PLA) for nitrogen rate of 210 kg ha⁻¹ applied on no-tillage and conventional tillage during 1997/98 growing season. Asterisks indicate significant effect of tillage system to 5% of probability according to t test.

labranza, determinando por lo tanto similares pérdidas de nitrógeno por desnitrificación.

Las pérdidas por desnitrificación acumuladas hasta la madurez del cultivo fueron de 6,4 y 7,2 kg de N-N₂O en SD y LC respectivamente. Las pérdidas acumuladas en el tratamiento testigo bajo SD fueron de 3,4 kg de N-N₂O (datos no mostrados). Asumiendo similares pérdidas de N-N₂O desde los tratamientos sin nitrógeno en ambos sistemas de labranza, las pérdidas por desnitrificación representaron solamente el 1,43 y 1,81% del nitrógeno aplicado en SD y LC, respectivamente. Dichas pérdidas, son

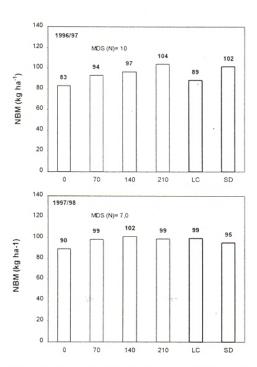


Figure 4. Contenido de nitrógeno en la biomasa microbiana (NBM) del suelo en madurez fisiológica en función de la dosis de nitrógeno y del sistema de labranza, en las estaciones de crecimiento 1996/97 y 1997/98. SD= siembra directa; LC= labranza convencional. MDS (N)= mínima diferencia significativa al 5% de probabilidad para la comparación de niveles de nitrógeno.

Figure 4. Soil microbial biomass nitrogen (NBM) at at physiological maturity at 1996/97 and 1997/98 growing seasons as affected by nitrogen rate and tillage system. SD= no-tillage; LC= conventional tillage. MDS (N)= least significant difference at 5% for comparing nitrogen levels.

similares a las observadas en SD en la estación de crecimiento 1996/97 (Sainz Rozas *et al.* 2000). Estos resultados indican que si el nitrógeno es aplicado al estadío de V6, la desnitrificación no sería un mecanismo importante de pérdida de nitrógeno para el cultivo de maíz en SD, donde ha sido reportado que dicho mecanismo podría ser más importante que en LC (Linn, Doran 1984).

La Figura 4 muestra el contenido de NBM del suelo en los primeros 20 cm de profundidad en MF. En 1996/97, el contenido de NBM fue inferior en LC que en SD, mientras que en 1997/98, el comportamiento fue inverso (Figura 4). No obstante, en ambos años, las diferencias observadas entre sistemas de labranzas no fueron significativas. Considerando que para aplicaciones de nitrógeno a la siembra del maíz, se ha informado una mayor inmovilización en SD que en LC (Kitur et al. 1984, Rice, Smith 1984), estos resultados sugieren que la aplicación de nitrógeno en V6 disminuye la inmovilización de nitrógeno en SD. Jokela y Randall (1997) observaron una menor inmovilización de nitrógeno para aplicaciones del mismo al estadío de V8, respecto de aplicaciones al momento de la siembra en cultivos de maíz bajo LC, atribuyendo dicho comportamiento a un menor contenido de agua del suelo luego de V8. En ambos años, la adición de nitrógeno incrementó el contenido del mismo en la biomasa microbiana, y las diferencias fueron observadas principalmente entre el tratamiento testigo y los fertilizados, ya que en general no se observaron diferencias entre las dosis de nitrógeno (Figura 4). La diferencia entre el tratamiento control y el promedio de los fertilizados fue de 13 kg de N ha-1, promedio de ambas estaciones de crecimiento, valores ligeramente inferiores (18 y 22 kg de N ha⁻¹) a los reportados por Jokela y Randall (1997).

La similitud de la magnitud de los valores de nitrógeno inmovilizado y de las pérdidas del mismo por desnitrificación en SD y LC, contribuyen a explicar la similar ERN observada en ambos sistemas de labranza. No obstante, la tendencia a una mayor ERN en LC podría ser explicada por la ocurrencia de mayores pérdidas por volatilización de amoniaco en suelos bajo SD (Keller, Mengel 1986). De todos modos, la magnitud de las

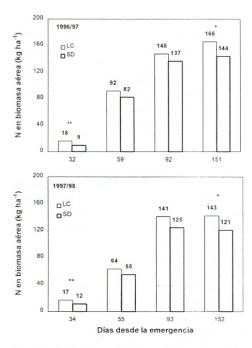
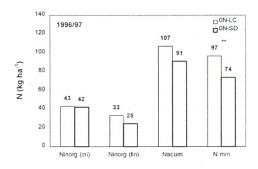


Figura 5. Evolución del nitrógeno acumulado en la biomasa aérea del cultivo de maíz bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) (promedio de niveles de nitrógeno), durante las estaciones de crecimiento 1996/97 y 1997/98. En V6 (32 y 34 dde) la comparación fue realizada utilizando el test de t dado que no había tratamientos con nitrógeno. **. *= diferencias al 5 y 10% de probabilidad, respectivamente.

Figure 5. Evolution of accumulated nitrogen in aerial biomass of no-tillage (SD) and conventional tillage (LC) maize (average nitrogen rates). during 1996/97 and 1997/98 growing seasons. The comparison at V6 stage (32 and 34 days after emergence) was made using t test because there were not treatments with nitrogen. **, *= indicate differences to 5 and 10% of probability, respectively.

pérdidas en SD no habría sido importante (Sainz Rozas *et al.* 1999), ya que como se mencionó, la diferencia en la ERN no fue de gran magnitud entre ambos sistemas de labranza.

La acumulación de nitrógeno en la biomasa aérea bajo LC fue mayor que en SD, siendo las mismas significativas en V6 y en MF (Figura 5). En ambas estaciones de crecimiento la diferencia a favor de LC se incrementó entre el estadío de posfloración y madurez fisiológica (Figura 5). Como se



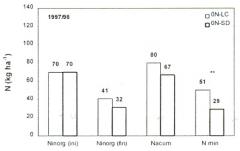


Figura 6. Nitrogeno mineral en el suelo hasta los 100 cm de profundidad al comienzo (Ninorg ini) y al final de la estación de crecimiento (Ninorg fin) bajo siembra directa (SD) y labranza convencional—(LC). Nacum= nitrógeno acumulado en la biomasa aérea del tratamiento testigo; N min= nitrógeno mineralizado durante la estación de crecimiento 1996/97 y 1997/98. Los asteriscos indican diferencias significativas al 5% de probabilidad de acuerdo al test de t.

Figure 6. Soil mineral nitrogen up to 100 cm of depth at the beginning (Ninorg ini) and at the end (Ninorg fin) of growing season under no-tillage (SD) and conventional tillage (LC). Nacume accumulated nitrogen in aerial biomass of control treatment; N min= mineralized nitrogen during the 1996/97 and 1997/98 growing seasons. Asterisks indicate significant effect of tillage system to 5% of probability according to t test.

mencionó la ERN desde el fertilizante fue similar bajo ambos sistemas de labranza, por lo que dichas diferencias a favor de LC podrían ser debidas a una mayor disponibilidad de nitrógeno mineral al momento de la siembra o a una mayor mineralización de nitrógeno durante la estación de crecimiento. El nitrógeno mineralizado durante el ciclo del cultivo fue calculado como la diferencia entre el nitrógeno acumulado en el tratamiento sin nitrógeno menos el cambio en el nitrógeno mineral (hasta

- results using labeled N fertilizer on an Atlantic coastal plain soil. Agron. J. 77: 602-611.
- Nelson DW, Sommers LE. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. Agron. J. 65:109-112.
- Rice CW, Smith MS. 1984. Short-term immobilization of fertilizer nitrogen at the surface of no-till and plowed soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 295-297.
- Rice CW, Havlin JL. 1994. Integrating mineralizable nitrogen indices into fertilizer nitrogen recommendation. p. 1-13. *En:* JL Havlin et al. (Eds.) Soil testing: prospects for improving nutrient recommendations. SSSA Spec. Publ. 40. SSSA, Madison, WI, USA.
- Ritchie SW. Hanway JJ. 1982. How a corn plant develops. Special report N° 48. Iowa State University of Science and Technology. Coop. Ext. Service. Ames, Iowa, USA.
- Sainz Rozas HR, Echeverría HE, Picone LI. 2000. Perdidas de nitrógeno por desnitrificación en un cultivo de maíz irrigado bajo siembra directa: efecto de la dosis de nitrógeno y el momento de fertilización. Actas del XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Sainz Rozas HR, Echeverría HE, Studdert GA, Andrade FH. 1999. No-tillage maize nitrogen uptake and yield: effect of urease inhibitor and application time. Agron. J. 91: 950-955.
- SAS. INSTITUTE INC. 1985. User's guide. Statistics. Version 5. SAS Institute Inc., Cary, Norht Carolina, USA.

- Schepers JS, Meisinger JJ. 1994. Field indicators of nitrogen mineralization. p. 31-46. En: J.L. Havlin et al. (Eds.) Soil testing: prospects for improving nutrient recommendations. SSSA Spec. Publ. 40. SSSA, Madison, WI, USA.
- Schimel JP, Jackson LE, Firestone MK. 1989. Spatial and temporal effects on plant-microbial competition for inorganic nitrogen in California annual grassland. Soil Biol. Biochem. 21:1059-1066.
- Shapiro SS, Wilk MB. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biomatrika. 52: 591-611.
- Staley TE, Perry HD. 1995. Maize utilization of fertilizer and soil nitrogen on a Hill-land Ultisol relative to tillage method. Agron. J. 87: 835-842.
- Studdert GA, Echeverría HE. 2000. Soja, girasol maíz en los sistemas de cultivo en el sudeste bonaerense. p. 407-433. En: Andrade FH y V Sadras (Eds.). Bases para el manejo de maíz, girasol y soja. INTA, Facultad de Ciencias Agrarias (Univ. Nac. de Mar del Plata, Asociación de Semilleros Argentinos.
- Thomas GW, Blevins RL, Phillips RE, Mcmahon MA. 1973. Effect of a killed sod mulch on nitrate movement and corn yield. Agron. J. 65:736-739.
- Yoshinari T, Hynes TR, Knowles R. 1977. Acetylene inhibition of nitrous oxide reduction and measurement of denitrification and nitrogen fixation in soil. Soil. Biol. Biochem. 9: 177-183.