

## DESNITRIFICACION EN UN SUELO BAJO SIEMBRA DIRECTA EN FUNCION DE LA PRESENCIA DE PLANTAS DE MAIZ Y DE LA DOSIS DE NITROGENO

SAINZ ROZAS H<sup>1</sup>, HE ECHEVERRÍA<sup>1</sup>, P BARBIERI<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Unidad Integrada EEA INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP). C.C. 276, (7620) Balcarce, Argentina. E-mail: hsainzrozas@hotmail.com. <sup>1,3</sup> Becario CIC

Recibido 29 de diciembre de 2003, aceptado 22 de abril de 2004

### DENITRIFICATION IN A SOIL UNDER NO-TILLAGE AS A FUNCTION OF PRESENCE OF MAIZE PLANT AND NITROGEN RATE

In the Southeastern of Buenos Aires Province little information exists on denitrification losses from soils under no-tillage with and without maize plants and variable soil nitrogen availability. A field experiment was carried out in 1997/98 growing season at Balcarce, Argentina (37° 45' S, 58° 18' W), on a soil complex of a fine, mixed, thermic Typic Argiudoll and a fine, illitic, thermic Petrocalcic Paleudoll. The treatments were a factorial combination of N rates (0 and 210 kg ha<sup>-1</sup>) and presence or absence of maize plants. Denitrification rates were evaluated during a period of 92 days. Denitrification rate was significantly lower with presence than in absence of maize plants. For the highest nitrogen rate, maize plants decreased denitrification rate even during the periods of highest soil moisture (393 and 307 g N ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> without and with plants, respectively). Maize plants limited denitrification rate by decreasing water filled pore space (WFPS) and nitrate concentration. A high relationship was found between denitrification rate and soil water availability and nitrate concentration ( $y = -0.616 + 0.005 \times \text{NO}_3^- \text{-N} + 0.0311 \times \text{WFPS}$ ;  $r^2 = 0.58$ ). Cumulative N<sub>2</sub>O-N losses were 11.4 and 16.1 kg N ha<sup>-1</sup> for 0 and 210 kg N ha<sup>-1</sup>, respectively, in the treatments without plants, and 4.1 and 6.5 kg N ha<sup>-1</sup> for 0 and 210 kg N ha<sup>-1</sup>, respectively, for treatments with plants. Results of this experiment show that denitrification losses can be high in soils under no-tillage during the fallow conditions.

**Key words:** maize plants, no-tillage, denitrification, nitrogen.

### INTRODUCCION

La desnitrificación es un componente importante del ciclo del nitrógeno. A escala global, la cantidad de nitrógeno perdido por desnitrificación puede ser balanceada por fijación biológica del nitrógeno en ecosistemas terrestres y marinos (Aulakh *et al.* 1992). Además, la desnitrificación disminuye la eficiencia con la que el nitrógeno proveniente de los fertilizantes es usado por los cultivos (Aulakh *et al.* 1992). Dicho proceso de pérdida afecta la calidad ambiental, ya que la emisión de óxidos de nitrógeno a la atmósfera, disminuyen el espesor de la capa de ozono e incrementan el calentamiento global (Crutzen, Ehhalt 1977; Rodhe 1990). Los principales factores que controlan la desnitrificación son el pH del suelo, la textura, la concentración de nitratos, la disponibilidad de carbono, la aireación y el contenido de humedad del suelo (Aulakh *et al.* 1992).

En sistemas limitados por carbono, la

presencia de plantas puede aumentar las pérdidas por desnitrificación a través de la adición de carbono por los exudados radicales (Voltz *et al.* 1976; Smith, Tiedje, 1979). Qian *et al.* (1997), trabajando en un suelo con un contenido de carbono del 1,74%, determinaron mayores tasas de desnitrificación al comienzo de la estación de crecimiento en presencia de plantas de maíz que en ausencia de las mismas, lo que se atribuyó a una mayor disponibilidad de carbono en la rizósfera. Sin embargo, en estadíos posteriores, las tasas de desnitrificación fueron mayores para el suelo sin plantas, debido a que el consumo de nitrógeno del cultivo disminuyó la disponibilidad de nitratos en el suelo, limitando el proceso de desnitrificación.

Los suelos del Sudeste Bonaerense se caracterizan por presentar elevados contenidos de materia orgánica (Echeverría, Ferrarí 1993), los que se incrementan cuando se adopta la siembra directa (SD), respecto a

suelos bajo labranza convencional (Studdert, Echeverría 2002). Por lo tanto, es factible hipotetizar que en condiciones de elevada humedad y concentración de nitratos, la presencia de plantas de maíz no contribuiría a incrementar las tasas de desnitrificación.

Por otra parte, en el Sudeste Bonaerense, los suelos bajo SD presentan una baja disponibilidad de nitrógeno mineral en el horizonte superficial al momento de la siembra del cultivo, y en consecuencia, la obtención de elevados rendimientos exige la aplicación de grandes cantidades de nitrógeno (Sainz Rozas *et al.* 1999). Esta baja disponibilidad de nitrógeno mineral puede ser debida a la existencia de pérdidas por lavado de nitratos (Liang *et al.* 1991) y desnitrificación durante el barbecho. No obstante, hasta el momento existe poca información local e internacional acerca de las pérdidas de nitrógeno por desnitrificación durante el barbecho en suelos de elevados contenidos de materia orgánica bajo SD. El conocimiento de la dinámica y de la magnitud de dicho proceso permitiría implementar prácticas de manejo de barbecho tendientes a disminuir las pérdidas de nitrógeno desde el mismo. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de la adición de nitrógeno y de la presencia o ausencia de plantas de maíz sobre las tasas de desnitrificación en suelos bajo SD.

## MATERIALES Y METODOS

El experimento se realizó 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 bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, con un arreglo factorial de los tratamientos. Los tratamientos fueron dos dosis de nitrógeno (0 y 210 kg ha<sup>-1</sup>) y la presencia o ausencia de plantas. La fuente de nitrógeno fue urea la cual fue aplicada en superficie al voleo al estadio de seis hojas expandidas (V6). El tamaño de la unidad experimental fue de 21 m<sup>2</sup> (5 surcos de ancho por 6 m de largo). El híbrido utilizado fue Dekalb 639 el cual fue sembrado el 23 de octubre de 1997. La población final de plantas fue de 74.300 plantas ha<sup>-1</sup>.

El experimento fue realizado sobre 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<sup>-1</sup> de materia orgánica. Dicho suelo tiene una historia agrícola de 3 años bajo SD con monocultivo de maíz y presentaba al momento de la siembra una cobertura superior al 90%. El barbecho químico fue realizado con glifosato (3 L ha<sup>-1</sup>) más 2-4, D (1,5 L ha<sup>-1</sup>), mientras que durante el ciclo del cultivo las malezas fueron controladas con atrazina (4 L ha<sup>-1</sup>) más acetoclor (3 L ha<sup>-1</sup>). En las parcelas sin plantas las malezas fueron controladas con glifosato más 2-4, D, usando las dosis mencionadas. El cultivo de maíz fue realizado sin deficiencia de P y agua, para lo cual se fertilizó con 20 kg de P ha<sup>-1</sup> y se realizaron riegos por aspersión en los momentos de mayores requerimientos hídricos. Las parcelas sin plantas

**Tabla 1.** Precipitaciones, riegos, medias mensuales de temperatura y radiación incidente durante la estación de crecimiento.

**Table 1.** Rainfall, irrigation, monthly means of air mean temperature and incident radiation during the growing season

Mes	1997/98				
	P <sup>†</sup>	R <sup>‡</sup>	ETc <sup>#</sup>	T <sup>§</sup>	RI <sup>¶</sup>
	----- mm -----			°C	MJ m <sup>-2</sup>
Octubre (siembra)	88		33	13,2	18,3
Noviembre	109		44	15,7	22,0
Diciembre	86	15	125	17,1	23,0
Enero (floración)	124	45	140	19,7	24,9
Febrero	49	40	108	18,2	19,6
Marzo (madurez)	24		55	18,1	17,3
Total	580	-	-	-	-

† P= precipitaciones.

‡ R= riego.

# ETc= evapotranspiración del cultivo.

§ T= temperatura media mensual del aire.

¶ RI= radiación incidente media mensual.

fueron regadas en forma simultánea con el cultivo. La disponibilidad de agua no habría limitado el crecimiento del cultivo dado que las precipitaciones ocurridas y los riegos realizados superaron la evapotranspiración del cultivo (Tabla 1). La evapotranspiración del cultivo resultó del producto entre la evapotranspiración potencial (Penman 1948) y el coeficiente de cultivo reportado para la zona por Otegui (1992).

Las tasas de desnitrificación fueron estimadas cada una o dos semanas durante la estación de crecimiento. El período de determinación comenzó una semana después de la fertilización y finalizó en madurez fisiológica, lo que totalizó un período de 92 días. Ante la ocurrencia de precipitaciones o riegos el esquema de muestreo fue alterado y el mismo fue realizado al día siguiente de ocurrido el evento, dado que la ocurrencia de los mismos incrementan las pérdidas por desnitrificación y deben ser incluidos para no subestimar dichas pérdidas (Sexstone *et al.* 1985). Las tasas de desnitrificación (N-N<sub>2</sub>O) fueron determinadas por el método de inhibición por acetileno (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) (Yoshinari *et al.* 1977). Seis muestras intactas (4,2 cm de diámetro por 15 cm de longitud) fueron tomadas aleatoriamente, a distancias variables de la hilera, en cada unidad experimental usando cilindros de PVC. En todos los muestreos se observó abundante presencia de raíces en los cilindros dado que luego del estadio de V6 (40-50 desde la

emergencia), las raíces del maíz cubren totalmente el entresurco (Fagioli 1973). Los cilindros fueron sellados con dos tapones de goma, teniendo el tapón superior un septum que permitió la obtención de la muestra gaseosa. Una vez en el laboratorio los cilindros fueron aireados, sellados nuevamente, y el 10% del volumen total de aire fue reemplazado por C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>. Los cilindros fueron incubados durante 24 h fuera del laboratorio en un lugar sombreado con circulación de aire. Luego de este período se tomaron 10 ml del espacio aéreo y se guardaron a 4 °C en recipientes herméticos bajo vacío. Posteriormente se analizó la concentración de N-N<sub>2</sub>O en un cromatógrafo de fase gaseosa (Hewlett Packard 5809) equipado con un detector de captura de electrones. Las temperaturas del inyector, horno y detector fueron de 60, 35 y 300 °C, respectivamente. 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<sub>2</sub>O (P<sub>acum</sub>) se estimaron a partir de las medias de tratamientos empleando la regla de Simpson (Bronson *et al.* 1992). Las P<sub>acum</sub> desde el fertilizante expresadas en porcentaje se calcularon como: [(P<sub>acum</sub> desde el tratamiento fertilizado – Pacum desde el testigo)/(dosis de N)] x 100.

En cada muestreo de desnitrificación fueron extraídas dos muestras de suelo al lado de cada cilindro para la determinación de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

**Tabla 2.** Análisis de la varianza del espacio poroso ocupado con agua (PLA), concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y tasas de emisión de N-N<sub>2</sub>O en función de la dosis de nitrógeno (N) y la presencia de plantas de maíz bajo siembra directa (PL).

**Table 2.** Analysis of variance of water filled pore space, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N concentration and N<sub>2</sub>O-N emission for different N rates and maize plant presence under no-tillage.

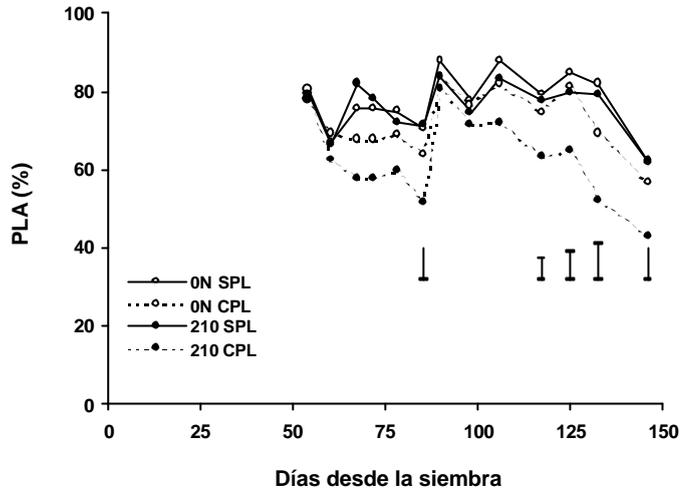
FV †	Gl ‡	Días desde la siembra													
		54	60	67	72	78	85	90	98	106	117	125	133	146	
PLA %															
N	1	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	*	**	**	**	*	
PL	1	ns	ns	**	**	**	**	ns	ns	*	**	**	**	**	
N*PL	1	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	*	*	*	
CV (%)		5	11	10	7	5	5	5	4	5	4	4	6	7	
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )															
N	1	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	
PL	1	ns	ns	*	*	**	*	ns	ns	*	*	*	**	**	
N*PL	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	*	
CV (%)		19	34	29	25	26	22	52	55	43	51	58	37	47	
Tasas de emisión de N-N <sub>2</sub> O															
N	1	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	*	
PL	1	ns	ns	**	ns	*	**	†	ns	**	*	*	**	**	
N*PL	1	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	
CV (%)		41	46	44	97	79	50	51	24	47	55	52	63	38	

†, \*, \*\* significativo al 10, 5 y 1% de probabilidad, respectivamente.

N= 0 y 210 kg ha<sup>-1</sup>.

† Fv= fuente de variación.

‡ Gl= grados de libertad.



**Figura 1.** Espacio poroso lleno con agua (PLA) para tratamientos sin N en ausencia de plantas de maíz (0N SPL), sin N con presencia de plantas de maíz (0N CPL), con 210 kg N ha<sup>-1</sup> en ausencia de plantas de maíz (210 SPL) y con 210 kg N ha<sup>-1</sup> con presencia de plantas de maíz (210 CPL). Barras verticales indican el valor de la mínima diferencia significativa para comparar medias de tratamientos cuando la interacción entre la dosis de nitrógeno y presencia de plantas fue significativa.

**Figure 1.** Water filled pore space for treatments without N in absence of maize plants (0N SPL), without N with the presence of maize plant (0N CPL), fertilized with 210 kg N ha<sup>-1</sup> in absence of maize plants (210 SPL) and fertilized with 210 kg N ha<sup>-1</sup> with the presence of maize plant (210 CPL). Vertical bars indicate least significant difference for comparing treatments means when interaction between N rate and presence of maize plants was significant.

mediante la extracción con K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5 M) en una relación suelo:solución extractora de 1:4. La determinación de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se realizó por microdestilación por arrastre de vapor y posterior titulación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,005 N (Bremner, Keeney 1966). En cada muestra de suelo se determinó el espacio poroso lleno con agua (PLA), donde PLA = [(humedad gravimétrica x densidad aparente / porosidad total)] x 100 y a su vez la porosidad total = [1 - (densidad aparente / densidad de partícula)], siendo el valor de la densidad de partícula usado de 2,65 g cm<sup>-3</sup>.

Para la determinación del umbral de concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> debajo del cual la tasa de desnitrificación disminuye, la tasa de desnitrificación de todos los tratamientos se relativizaron respecto del tratamiento con 210 kg N ha<sup>-1</sup> sin plantas, dado que en este tratamiento se considera que el nitrógeno no es limitante. A su vez, para que el contenido de humedad no limitara el proceso, se emplearon solamente las tasas de desnitrificación con valores de PLA del 78% o mayores.

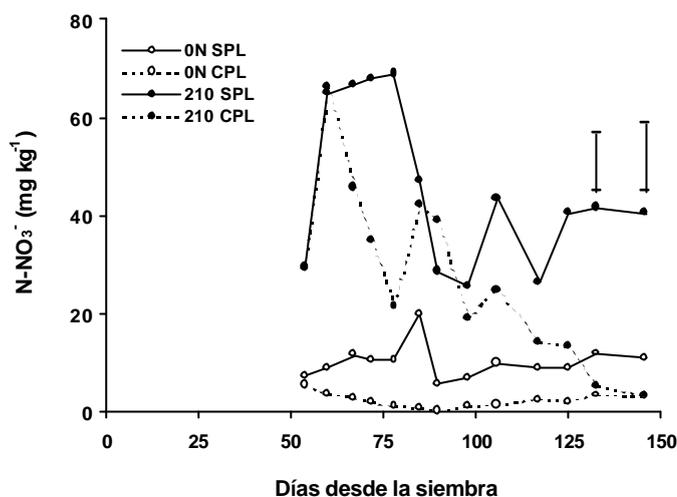
El análisis de los resultados fue realizado usando el procedimiento GLM incluido en las rutinas del programa Statistical Analysis Systems (SAS Institute Inc, 1985). Diferencias mínimas significativas (DMS) al 0,10 fueron calculadas cuando el análisis de la varianza detectó interacción. Las tasas diarias de desnitrificación fueron

transformadas usando log<sub>10</sub> (Parkin, Robinson 1994) con el objetivo de realizar regresiones lineales, simples o múltiples, entre las variables determinadas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La presencia de plantas de maíz disminuyó el PLA en la mayoría de los muestreos, y en algunas fechas, el PLA fue afectado por la interacción entre la dosis de nitrógeno y la presencia de plantas, dado que los valores más bajos se observaron en los tratamientos con plantas fertilizados con 210 kg N ha<sup>-1</sup> (210 CPL) (Tabla 2; Figura 1). En algunas fechas de muestreo, el tratamiento con plantas sin nitrógeno (0N CPL) mostró valores de PLA cercanos a los tratamientos sin plantas (Figura 1). Este comportamiento sugiere que la fertilización nitrogenada habría aumentado el área foliar y la intercepción de la radiación incidente por el cultivo (Uhart, Andrade 1995), variables que determinan un mayor consumo de agua (Rhoads, Bennett, 1990).

En la mayoría de las fechas de muestreo la concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se incrementó por la aplicación de nitrógeno y fue más baja en presencia de plantas de maíz



**Figura 2.** Concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  en suelo para tratamientos sin N en ausencia de plantas de maíz (0N SPL), sin N con presencia de plantas de maíz (0N CPL), con  $210 \text{ kg N ha}^{-1}$  en ausencia de plantas de maíz (210 SPL) y con  $210 \text{ kg N ha}^{-1}$  con presencia de plantas de maíz (210 CPL). Barras verticales indican el valor de la mínima diferencia significativa para comparar medias de tratamientos cuando la interacción entre la dosis de nitrógeno y presencia de plantas fue significativa.

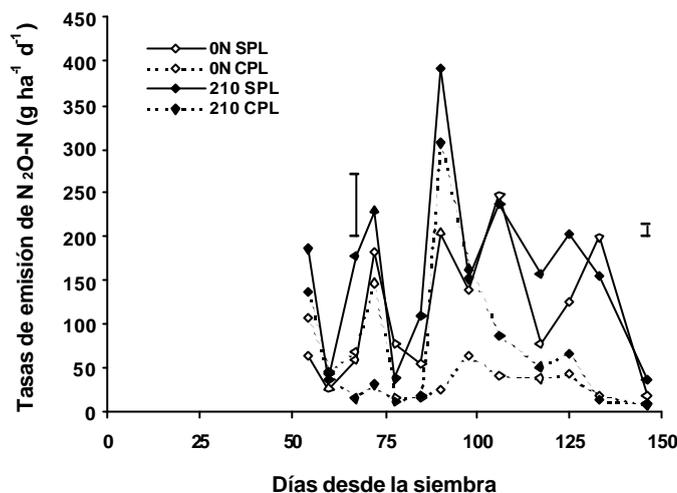
**Figure 2.** Soil  $\text{NO}_3^-$ -N concentration for treatments without N in absence of maize plants (0N SPL), without N with the presence of maize plant (0N CPL), fertilized with  $210 \text{ kg N ha}^{-1}$  in absence of maize plants (210 SPL) and fertilized with  $210 \text{ kg N ha}^{-1}$  with the presence of maize plant (210 CPL). Vertical bars indicate least significant difference for comparing treatments means when interaction between N rate and presence of maize plants was significant.

(Tabla 2; Figura 2). La concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  fue afectada por la interacción entre la dosis de nitrógeno y la presencia de plantas en los muestreos realizados a los 133 y 146 dds (Tabla 2; Figura 2). La concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  fue significativamente mayor solo en el tratamiento sin la presencia de plantas fertilizado con  $210 \text{ kg N ha}^{-1}$  (210 SPL). El tratamiento 210 CPL mostró valores de concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  similares al tratamiento 0N CPL, lo que pone de manifiesto el gran consumo de nitrógeno por parte del cultivo (Figura 2). Este último tratamiento mostró los valores más bajos de concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  durante todo el período de medición, los cuales oscilaron entre  $0,4$  y  $6 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que en el tratamiento sin plantas y sin nitrógeno (0N SPL), la concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  varió entre  $6$  y  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ . Los tratamientos que recibieron  $210 \text{ kg de N ha}^{-1}$  mostraron valores de concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  mayores a  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  durante gran parte del período evaluado (Figura 2).

El test de Shapiro-Wilk (Shapiro, Wilk 1965) no detectó falta de normalidad en la distribución de las tasas diarias de desnitrificación en ninguna fecha de muestreo,

debido a que los coeficientes de variación de dicha variable durante la estación de crecimiento oscilaron entre el 25 y el 79% (Tabla 2), valores que no están asociados a falta de normalidad (Parkin, Robinson 1994).

En algunas fechas de muestreo se detectó efecto significativo de la dosis de nitrógeno e interacción entre la dosis de nitrógeno y la presencia de plantas sobre la tasa de desnitrificación. No obstante, en la mayoría de las fechas de muestreo las tasas de desnitrificación fueron afectadas significativamente por la presencia de plantas de maíz (Tabla 2; Figura 3). Las tasas de desnitrificación fueron más bajas en los tratamientos con plantas, lo que indica que la presencia de plantas en activo crecimiento disminuyó la intensidad del proceso a través del consumo de agua y/o de  $\text{N-NO}_3^-$  del suelo. En el muestreo realizado a los 90 dds, en el que se observó un elevado PLA en todos los tratamientos (Figura 1), la tasa de desnitrificación se incrementó por la aplicación de nitrógeno y fue menor en presencia de plantas (Tabla 2; Figura 3). En este caso la presencia de plantas habría afectado el proceso a través del consumo de



**Figura 3.** Tasas de emisión de N-N<sub>2</sub>O para tratamientos sin N en ausencia de plantas de maíz (0N SPL), sin N con presencia de plantas de maíz (0N CPL), con 210 kg N ha<sup>-1</sup> en ausencia de plantas de maíz (210 SPL) y con 210 kg N ha<sup>-1</sup> con presencia de plantas de maíz (210 CPL). Barras verticales indican el valor de la mínima diferencia significativa para comparar medias de tratamientos cuando la interacción entre la dosis de nitrógeno y presencia de plantas fue significativa.

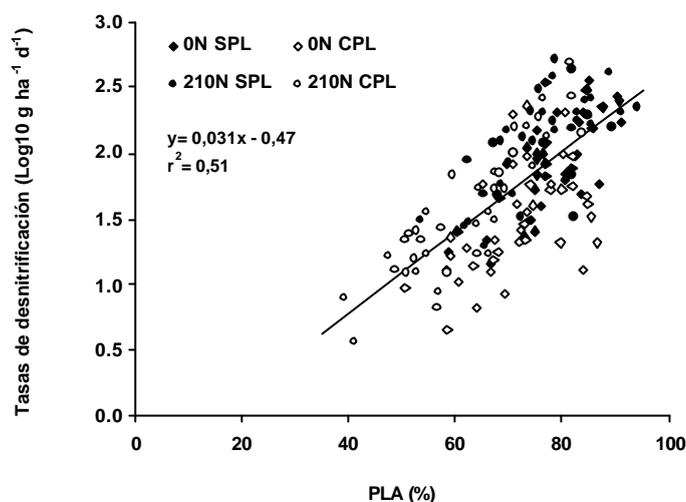
**Figure 3.** Nitrous oxide emission for treatments without N in absence of maize plants (0N SPL), without N with the presence of maize plant (0N CPL), fertilized with 210 kg N ha<sup>-1</sup> in absence of maize plants (210 SPL) and fertilized with 210 kg N ha<sup>-1</sup> with the presence of maize plant (210 CPL). Vertical bars indicate least significant difference for comparing treatments means when interaction between N rate and presence of maize plants was significant.

nitratos, dado que no se observaron diferencias en el PLA (Tabla 2). Las tasas de desnitrificación mas bajas se determinaron en el tratamiento 0N CPL, el cual a su vez mostró el valor más bajo de concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el suelo (Figura 2).

Los resultados del muestreo realizado a los 90 dds indican que en condiciones de elevada humedad edáfica y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, condición generada en los tratamientos fertilizados, el aporte de C a la rizósfera por parte del cultivo no incrementó las tasas de desnitrificación respecto del tratamiento sin plantas. Esto podría ser debido a que las raíces del cultivo no habría incrementado el C fácilmente disponible para los desnitrificadores (Haider *et al.* 1985). En línea con estos resultados, en un estudio posterior, Haider *et al.* (1987) reportaron que en condiciones de elevada disponibilidad de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> la presencia de plantas en activo crecimiento no incrementó las pérdidas por desnitrificación durante el período comprendido entre V6 y floración, pero sí durante el período comprendido entre floración y madurez fisiológica, a causa del decaimiento del sistema radical del cultivo. Sin embargo, en

nuestro experimento, el tratamiento 210 CPL mostró bajas tasas de desnitrificación después de la floración (90 dds) (Figura 3), comportamiento que se explica por el bajo PLA de dicho tratamiento (Figura 1), dado que la concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se mantuvo elevada hasta el muestreo realizado a los 125 dds (Figura 2). Estos resultados no coinciden con aquellos reportados por Qian *et al.* (1997), quienes observaron que la presencia de plantas de maíz incrementó las tasas de desnitrificación en condiciones de elevada concentración de nitratos y humedad.

En general, la evolución de las tasas de desnitrificación siguió el comportamiento del PLA (Figuras 1 y 3). En consecuencia, se determinó una relación lineal significativa (P<0,01) entre el Log<sub>10</sub> de las tasas de desnitrificación y el PLA (Figura 4). Sin embargo, la mayor parte de los puntos correspondientes al tratamiento 0N CPL, y algunos del tratamiento 0N SPL de la Figura 4 se ubicaron debajo de la línea de tendencia, dado que se observaron bajas tasas de emisión de N-N<sub>2</sub>O con elevados contenidos de humedad. Por lo tanto, cuando se utilizó el PLA



**Figura 4.** Relación entre el logaritmo de las tasas de emisión de  $N-N_2O$  y el espacio poroso lleno con agua para tratamientos sin N en ausencia de plantas de maíz (0N SPL), sin N con presencia de plantas de maíz (0N CPL), con  $210 \text{ kg N ha}^{-1}$  en ausencia de plantas de maíz (210 SPL) y con  $210 \text{ kg N ha}^{-1}$  con presencia de plantas de maíz (210 CPL).

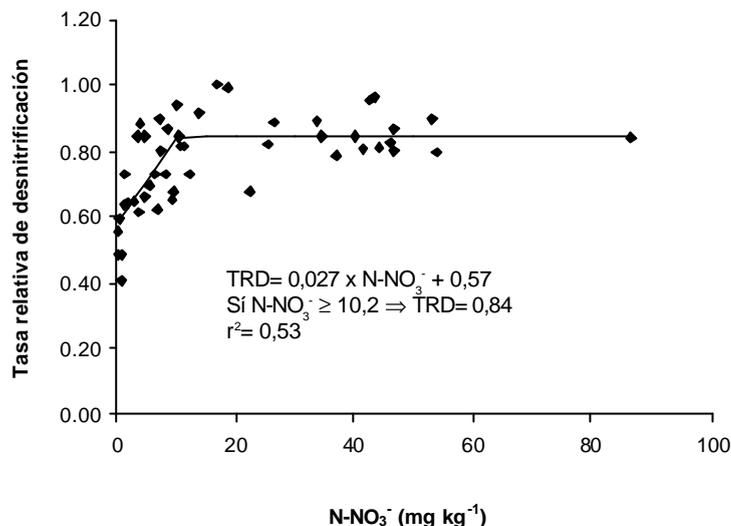
**Figure 4.** Relationship between the logarithm of  $N_2O-N$  emission rate for treatments without N in absence of maize plants (0N SPL), without N with the presence of maize plant (0N CPL), fertilized with  $210 \text{ kg N ha}^{-1}$  in absence of maize plants (210 SPL) and fertilized with  $210 \text{ kg N ha}^{-1}$  with the presence of maize plant (210 CPL).

y la concentración de  $N-NO_3^-$  se explicó una mayor parte de la variabilidad de las tasas de desnitrificación ( $y = -0,616 + 0,005 \times N-NO_3^- + 0,0311 \times \text{PLA}$ ;  $r^2 = 0,58$ ).

Las tasas relativas de desnitrificación se relacionaron con la concentración de  $N-NO_3^-$  en el suelo, con una relación de tipo lineal-meseta. Dicha relación mostró un valor umbral de  $10,2 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $N-NO_3^-$  por arriba del cual la tasa de desnitrificación no se incrementó (Figura 5). Estos resultados no coinciden con lo reportado por otros autores (Bowman, Focht 1974; Kohl *et al.* 1976), quienes han determinado que las tasas de desnitrificación son sustrato dependiente (reacción de primer orden) hasta una concentración de  $40 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $N-NO_3^-$ . Esta diferencia es explicada por la interrelación que existe entre el contenido de agua, disponibilidad de carbono y la concentración de  $N-NO_3^-$  (Aulakh *et al.* 1992). Por ejemplo, en ambientes con una mayor disponibilidad de carbono sería factible que el valor umbral sea mayor, dado que la relación entre la tasa de desnitrificación y la concentración de  $N-NO_3^-$  es de primer orden cuando el carbono no es limitante (Reddy *et al.* 1980; Cho 1982).

Se determinó efecto significativo de la dosis de nitrógeno ( $p < 0,05$ ) y la presencia de plantas ( $p < 0,01$ ) sobre las  $P_{\text{acum}}$  durante el período de evaluación. En los tratamientos sin plantas las  $P_{\text{acum}}$  fueron de  $11,4$  y  $16,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ , para las dosis  $0$  y  $210 \text{ kg N ha}^{-1}$ , respectivamente. En los tratamientos con plantas las  $P_{\text{acum}}$  fueron de  $4,1$  y  $6,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ , para las dosis de  $0$  y  $210 \text{ kg N ha}^{-1}$ , respectivamente. Estos resultados están en línea con lo reportado por Aulakh *et al.* (1983) quienes determinaron mayores pérdidas en suelos bajo barbecho que en suelos cultivados con trigo. La  $P_{\text{acum}}$  expresada como porcentaje del N aplicado fue del  $2\%$  para el tratamiento 210 SPL. Sin embargo, la misma fue del  $1,14\%$  para el tratamiento 210 CPL. Este último valor es similar al reportado para la zona por Sainz Rozas *et al.* (2001), para igual dosis y momento de fertilización.

Las  $P_{\text{acum}}$  en el tratamiento 0N SPL en un período en el cual la humedad edáfica generalmente limitó la desnitrificación (fines de primavera-verano), indican que las pérdidas producidas por dicho mecanismo podrían ser mayores en períodos del año donde las precipitaciones superan a la evapotrans-



**Figura 5.** Relación entre la tasa relativa de emisión de  $N-N_2O$  y la concentración de  $N-NO_3^-$  en el suelo.

**Figure 5.** Relationship between  $N_2O-N$  emission relative rate and soil  $NO_3^-N$  concentration.

piración (otoño, invierno y principios de primavera). Por lo tanto, la desnitrificación sería responsable en parte de la baja disponibilidad de  $N-NO_3^-$  que generalmente se observa en suelos bajo SD al momento de la siembra del maíz (Sainz Rozas *et al.* 1999). En base a lo determinado en esta experiencia se plantea como interrogante si la utilización de cultivos de trampa, es decir, cultivos que crecen durante el período de barbecho, aumentaría la eficiencia de uso del N al nivel de sistema de producción, particularmente en suelos bajo SD.

En síntesis, los resultados de este experimento indican que la presencia de plantas de maíz en activo crecimiento limitó el proceso de desnitrificación respecto de los tratamientos sin plantas, debido principalmente a una menor disponibilidad de agua y, en menor medida, a un menor contenido de nitratos en el suelo.

#### REFERENCIAS

- Aulakh MS, Doran JW, Mosier AR. 1992. Soil denitrification-significance, measurement, and effects of management. *Adv. in Soil Sci.* 18: 1-57.
- Aulakh MS, Rennie DA, Paul EA. 1983. The effect of various clover management practices on gaseous N losses and mineral accumulation. *Can. J. Soil Sci.* 63: 593-605.
- Bowman RA, Focht DD. 1974. The influence of glucose and nitrate concentrations upon denitrification rates in a sandy soil. *Soil Biol. Biochem.* 6: 297-301.
- Bremner J, Keeney D. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3 exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:577-582.
- Bronson KF, Mosier AR, Bishnoi SR. 1992. Nitrous oxide emissions in irrigated corn as affected by nitrification inhibitors. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 161-165.
- Cho CM. 1982. Oxygen consumption and denitrification kinetics in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 756-762.
- Crutzen PJ, Ehhalt DH. 1977. Effects of nitrogen fertilizer and combustion on the stratospheric ozone layer. *Ambio.* 6: 112-117.
- Echeverría HE, Ferrari J. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste bonaerense. INTA, Ce.R.B.A.S., E.E.A. Balcarce, Boletín Técnico no. 112.
- Fagioli M. 1973. Desarrollo de los aparatos radicales en cultivos de maíz y trigo en la región de Pergamino. *Revista de investigaciones agropecuarias.* 3: 111-135.
- Haider K, Mosier A, Heinemeyer O. 1985. Phytotron experiments to evaluate the effect of growing plants on denitrification. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 636-641.
- Haider K, Mosier A, Heinemeyer O. 1987. The effect of growing plants on denitrification at high soil nitrate concentrations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 97-102.
- Kohl DH, Vithayathil P, Whitlow G, Shearer G, Chien SH. 1976. Denitrification kinetics in soil systems: the significance of good fits of data to

- mathematical forms. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 249-253.
- Liang BC, Remillard M, MacKenzie AF. 1991. Influence of fertilizer, irrigation, and non-growing season precipitation on soil nitrate-nitrogen under maize. *J. Environ. Qual.* 20: 123-128.
- Otegui ME. 1992. Incidencia de una sequía alrededor de antesis en el cultivo de maíz. Consumo de agua, producción de materia seca y determinación del rendimiento. Tesis M.Sci. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Parkin TB, Robinson J. 1994. Statistical treatment of microbial data. En: Weaver RW et al. (eds) *Methods of soil analysis: Part 2. Microbial and Biochemicals Properties*. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI. pp 15-39.
- Penman HI. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. London. Proc. Ser. A.* 193: 120-146.
- Qian JH, Doran JW, Walters DT. 1997. Maize plant contributions to root zone available carbon and microbial transformations of nitrogen. *Soil Biol. Biochem.* 29: 1451-1462.
- Reddy KR, Sacco PD, Graetz DA. 1980. Nitrate reduction in a organic soil-water system. *J. Environ. Qual.* 9: 283-288.
- Rhoads FM, Benneth JM. 1990. Corn. En: Stewart BA, Nielsen DR (eds). *Irrigation of agricultural crops*. Agronomy n°30. ASA, CSSA y SSSA. Wisconsin. USA. pp. 569-596
- Rodhe H. 1990. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect. *Science.* 248: 1217-1219.
- Sainz Rozas HR, Echeverría HE, Picone LI. 2001. Denitrification in maize under no-tillage: effect of nitrogen rate and application time. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1314-1323.
- 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, North Carolina, USA.
- Sextone AJ, Parkin TB, Tiedje JM. 1985. Temporal response of denitrification rates to rainfall and irrigation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 99-103.
- Shapiro SS, Wilk MB. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biométrica.* 52: 591-611.
- Smith MS, Tiedje JM. 1979. The effects of roots on soil denitrification. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 951-955.
- Studdert GA, Echeverría HE. 2002. Agricultura continua labranzas y carbono orgánico en la capa arable en el sudeste bonaerense. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Pto. Madryn, Chubut. Actas en CD 6p.
- Uhart SA, Andrade FH. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. *Crop Sci.* 35: 1376-1383.
- Voltz MG, Ardakani RK, Schulz LH, Stolzy LH, McLaren AD. 1976. Soil nitrate loss during irrigation: enhancement by plant roots. *Agron. J.* 68: 621-627.
- 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.