

## ESTIMACION DEL NITROGENO MINERALIZADO PARA UN CULTIVO DE TRIGO EN DISTINTAS SECUENCIAS DE CULTIVOS.

G A Studdert, L S Carabaca, H E Echeverría

Unidad Integrada Fac. Ciencias Agrarias (UNMP)- EEA INTA Balcarce, C.C. 276, (7620) Balcarce, Argentina. E-mail: gastudde@mdp.edu.ar

Recibido 9 de febrero de 2000, aceptado 26 de mayo de 2000.

### ESTIMATION OF SOIL NITROGEN MINERALIZATION FOR SPRING WHEAT IN DIFFERENT CROP SEQUENCES

Nitrogen fertilization diagnosis for wheat should include not only the evaluation of available nitrogen at sowing but also the nitrogen to be mineralized during the crop growing season. Soil nitrogen availability dynamics depends on the size of soil potentially mineralizable nitrogen ( $N_0$ ), which in turn is dependent on long term soil management, and on the characteristics of the plant material returned to the soil, determined by on the preceding crop. It has been hypothesized that a model based on  $N_0$  to estimate nitrogen mineralization, would not be effective since  $N_0$  does not take into account the material returned to the soil. In a field experiment at Balcarce, nitrogen nutrition and yield of wheat sown after four preceding crops (soybean, wheat, sunflower, and maize) within four long term crop sequences with a high frequency of each of them was studied. In a laboratory experiment soil organic carbon,  $N_0$  and mineralization constant ( $k$ ) were determined. Grain yield, aboveground dry matter and nitrogen accumulation and other nitrogen nutrition indicators showed the following order as a function of the preceding crop: soybean>wheat> sunflower>maize. Soil organic carbon,  $N_0$  and mineralized soil nitrogen estimated with the model showed the opposite order due to the long term effect of the sequences. Soybean residues decomposition released nitrogen and maize residues provoked nitrogen immobilization that altered wheat nitrogen nutrition and were not taken into account by the model. Nitrogen mineralization estimation should include the short term effect of preceding crops in the sequence.

**Key words:** wheat, nitrogen mineralization, prediction, preceding crops.

**Palabras claves:** trigo, mineralización de nitrógeno, predicción, secuencia de cultivos.

### INTRODUCCION

La deficiencia de nitrógeno en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L., T) puede reducir el rendimiento, como resultado de la disminución del área foliar y de la intercepción de la radiación, y, consecuentemente, de la eficiencia de conversión de la radiación en materia seca. (Abbate *et al.* 1994; Lázaro 1996). Para realizar un buen diagnóstico de la necesidad de fertilización nitrogenada en trigo se debería considerar no sólo el nitrógeno mineral en el suelo a la siembra, sino también el que se mineralizaría durante la estación de crecimiento del cultivo (Rice, Havlin 1994; Echeverría *et al.* 1994). La estimación de esta última fracción es muy compleja ya que se ve afectada por muchos factores que tienen efecto sobre la dinámica del carbono y del nitrógeno del suelo, y están muy relacionados con los

procesos de inmovilización y mineralización que alteran la disponibilidad de nitrógeno para el cultivo (Loiseau *et al.* 1994).

La mineralización de nitrógeno del suelo responde a una cinética de primer orden (Rice, Havlin 1994) ya que la cantidad neta que se obtiene por incubación de muestras en condiciones adecuadas para la actividad microbológica, es directamente proporcional al tamaño del *pool* de nitrógeno mineralizable (Stanford, Smith 1972). La incubación de muestras de suelo por largos períodos en esas condiciones permite determinar la fracción del nitrógeno orgánico susceptible de ser mineralizado (nitrógeno potencialmente mineralizable,  $N_0$ ) y la constante de mineralización ( $k$ ). No obstante, la  $k$  se ve afectada por la temperatura (Echeverría *et al.* 1994) y el contenido de agua (Navarro *et al.* 1991) del suelo. Por ello, para estimar la

mineralización a campo, se requiere corregir la  $k$  por las condiciones hídricas y térmicas del período a evaluar (Echeverría *et al.* 1994).

Cada suelo tiene una determinada capacidad relativa de suministro de nitrógeno en función del manejo a que ha sido sometido. Ciclos agrícolas prolongados provocan menores rendimientos de trigo sin el agregado de nitrógeno (Studdert, Rizzalli 1994), debido a una disminución del contenido de materia orgánica (Casanovas *et al.* 1995) y, consecuentemente, del  $N_0$  (Echeverría *et al.* 1994). Studdert y Echeverría (2000) han demostrado que, dentro de los ciclos agrícolas, las secuencias de cultivos que aportan mayor cantidad de rastrojos se asocian a mayores contenidos de materia orgánica y posiblemente a más elevada capacidad de suministrar nitrógeno, que se podría identificar a través de la determinación del  $N_0$ . El conocimiento del  $N_0$  permitiría evaluar el efecto de prácticas de manejo o uso del suelo sobre la capacidad relativa del suelo de suministrar nitrógeno a los cultivos y podría ser utilizado en modelos de simulación para predecir los posibles aportes de nitrógeno (Echeverría *et al.* 1994; Rice, Havlin 1994).

Por otro lado, el cultivo antecesor altera el proceso de mineralización-inmovilización de nitrógeno tanto por el tipo de residuo que deja, como por el período de barbecho que permite realizar. Para el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires se ha encontrado que, sin el agregado de N, los antecesores soja (*Glycine max* L. Merr., S) y girasol (*Helianthus annuus* L., G) (relación C/N baja a media) generaron rendimientos de trigo similares, mientras que sobre maíz (*Zea mays* L., M) (relación C/N alta) la producción de T fue inferior debido a la inmovilización provocada por sus rastrojos (Lázaro 1996). Tales diferencias no existieron cuando se aplicó fertilizante nitrogenado. Badaruddin y Meyer (1994) también observaron diferencias entre antecesores, y encontraron mayor rendimiento de grano y más nitrógeno inicial en suelo y en planta cuando el antecesor era S que cuando era T, lo que fue atribuido al aporte por mineralización del nitrógeno en los rastrojos de S. El efecto de los residuos de los antecesores sobre el proceso de mineralización-inmovilización puede persistir durante el ciclo del

cultivo de T influenciando la capacidad del suelo para proveer nitrógeno. Los menores rendimientos de T observados por Lázaro (1996) cuando el antecesor era M respecto a los asociados al antecesor S, se contraponen con los mayores y menores contenidos de materia orgánica observados cuando la secuencia presentaba una alta frecuencia de uno y otro cultivo, respectivamente (Studdert, Echeverría 2000)

La estimación de la mineralización de nitrógeno no sólo debería incluir el mineralizado a partir de la materia orgánica del suelo y otras fuentes de nitrógeno orgánico, sino también el liberado a partir de los residuos de los cultivos antecesores (Rice, Havlin 1994). El método de Stanford y Smith (1972) para estimación del  $N_0$ , no contempla esto último, ya que los residuos presentes en el suelo son eliminados. Esto impide tanto lograr una estimación exacta de la mineralización potencial en el sistema suelo-cultivo, como conocer el efecto de los residuos sobre el nitrógeno liberado por la mineralización de la fracción orgánica del suelo.

Se ha propuesto un modelo simple para estimar la mineralización de nitrógeno durante el ciclo de los cultivos basado en el  $N_0$  y en la corrección de la  $k$  por las condiciones térmicas e hídricas del período de estimación (Echeverría *et al.* 1994). Este modelo no ha sido validado en condiciones de campo y, debido a que se basa exclusivamente en el  $N_0$ , se hipotetiza que su capacidad para predecir la disponibilidad de nitrógeno para un cultivo de T sobre distintos antecesores es limitada. Los objetivos del presente trabajo fueron: i) determinar el  $N_0$  de suelos sometidos a distintas secuencias agrícolas por muchos años, ii) evaluar el efecto de tales secuencias sobre la nutrición nitrogenada y la productividad de un cultivo de T y sobre la variación del nitrógeno mineral en el suelo durante su ciclo y, iii) comparar estas variables medidas con los resultados de la predicción de mineralización a través del modelo desarrollado por Echeverría *et al.* (1994).

## MATERIALES Y METODOS

### 1.- Ensayo de campo

Este ensayo se llevó a cabo durante la

campana 1995/96 en la Unidad Integrada Balcarce (UIB) (37° 45' S, 58° 18' W, 138 m.s.n.m.), sobre un complejo de suelos Argiudol Típico fino, mixto, térmico y Paleudol Petrocálcico fino, íltico, térmico sin limitaciones físicas para el cultivo de T. Se seleccionaron las subparcelas testigo (sin el agregado de nitrógeno) de las secuencias soja-soja-trigo (SST), girasol-girasol-trigo (GGT), girasol-trigo-trigo (GTT) y maíz-maíz-trigo (MMT) de un ensayo de larga duración conducido desde 1984. Este trabajo se realizó sobre el cultivo de T del último año de cada una de ellas, o sea, realizado sobre cuatro antecesores inmediatos: S, G, T y M. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con tres repeticiones. Los trabajos de preparación del suelo fueron con arado de rejas y rastras de disco y dientes. Los barbechos fueron iniciados inmediatamente después de la cosecha de los cultivos antecesores y tuvieron una duración de 219, 52, 121 y 107 días cuando los antecesores fueron T, S, G y M, respectivamente. Se utilizó la variedad de trigo pan Pro INTA Oasis, que se sembró el 18/8/95 con un espaciamiento entre líneas de 17,5 cm y una densidad de siembra de 400 semillas m<sup>2</sup>. Se aplicaron 25 kg P ha<sup>-1</sup> como superfosfato triple de calcio en la línea de siembra y se controlaron las malezas según las recomendaciones para la zona.

Se tomaron muestras de suelo de las capas 0-20, 20-40, 40-70 y 70-100 cm en cinco momentos del ciclo del cultivo [pre-siembra (PS, 31/07/95), espiguilla terminal (ET, 19/10/95), pre-antesis (PA, 13/11/95), antesis (A, 21/11/95) y madurez fisiológica (MF, 18/12/95)] para determinar los contenidos de nitrógeno inorgánico (Nin) (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y de agua. Las muestras de las dos primeras capas se tomaron en todas las unidades experimentales, y las de las dos capas siguientes, se tomaron en una sola de las repeticiones. El contenido de agua fue determinado por el método gravimétrico y el contenido de Nin, por microdestilación por arrastre con vapor (Bremner, Keeney 1985) sobre extractos realizados con K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a partir de las muestras secadas al aire.

En ET, PA, A y MF se cortaron al ras del suelo las plantas de 3 tramos de surco al azar de 1 m de longitud, para determinar la acumulación de materia seca (MS, kg ha<sup>-1</sup>) y de nitrógeno total (Nt, kg N ha<sup>-1</sup>) en la parte aérea del cultivo. Las muestras se llevaron a estufa (con circulación forzada de aire a 60°C) hasta peso constante y luego fueron molidas hasta pasar por tamiz de 1 mm. Se determinó el contenido de nitrógeno por micro-Kjeldahl (Bremner, Mulvaney 1982) y se calculó el Nt. En MF las muestras de plantas fueron fraccionadas en grano y resto de la planta y se hicieron las determinaciones por separado. La cosecha se realizó el 3/1/96 y los rendimientos fueron

expresados en kg ha<sup>-1</sup> corregidos a 14% de humedad. De las muestras de grano obtenidas en MF, se pesaron 3 grupos de 100 granos para calcular el peso de 1000 granos y el número de granos por m<sup>2</sup>.

Con los valores de Nin, y los de Nt, se realizó un balance simple de nitrógeno (Meisinger 1984) según:

$$N_{min} - N_{per} = N_{in(0)} + N_t - N_{in(t)} \quad (1)$$

donde N<sub>min</sub> es el nitrógeno mineralizado, N<sub>per</sub> es el nitrógeno perdido, N<sub>in(0)</sub> es el Nin hasta 100 cm, N<sub>t</sub> es el acumulado, para el estadio fenológico considerado, y N<sub>in(t)</sub> es el Nin hasta 100 cm a la siembra del cultivo. Todos los términos se expresaron en kg N ha<sup>-1</sup>.

## 2.- Ensayo de laboratorio

En PS se tomaron muestras compuestas de la capa 0-20 cm del suelo de cada unidad experimental y se tamizaron con tamiz de 4,8 mm a fin de separar todo el material vegetal. Posteriormente, fueron secadas al aire y molidas hasta pasar por tamiz de 2,0 mm y se les determinó el contenido de carbono orgánico mediante combustión húmeda (Nelson, Sommers 1982) y de nitrógeno orgánico por micro-Kjeldahl (Bremner, Mulvaney 1982).

Para la determinación de N<sub>0</sub> y k se utilizó la metodología propuesta por Stanford y Smith (1972). En tubos de ensayo perforados en su base se colocó una mezcla de 10 g de suelo seco al aire y libre de restos vegetales mezclados con 30 g de arena fina. Además, se colocaron capas de arena gruesa por debajo y por encima de la mezcla suelo-arena separadas por discos de fibra de vidrio. Toda la arena utilizada había sido previamente lavada con HCl e NaOH. Los tubos fueron incubados a 35 °C con un contenido de agua equivalente a la capacidad de campo (0,033 MPa) durante 224 días. Se hicieron un lavado inicial, uno cada 14 días hasta los 28 días y uno cada 28 días hasta el final de la incubación, con 100 mL de CaCl<sub>2</sub> 0,01N y las determinaciones se hicieron por microdestilación por arrastre con vapor (Bremner, Keeney 1985). Para la estimación de N<sub>0</sub> y k, los valores obtenidos de nitrógeno mineralizado acumulado se ajustaron por regresión no lineal (algoritmo de Marquardt), a un modelo exponencial de un compartimiento (Stanford, Smith 1972).

## 3.- Estimación del nitrógeno mineralizado

Para la estimación del N mineralizado durante el ciclo del cultivo de trigo se empleó el modelo simple propuesto por Echeverría *et al.* (1994) con un paso de cálculo diario:

$$N_{min(t)} = \sum [(N_{0i} - N_{min(p)}) * k_T * Y * 2,34] \quad (2)$$

donde N<sub>min(t)</sub> es el Nmin (kg N ha<sup>-1</sup>) hasta el día t, Σ es la sumatoria desde el día de la extracción de las

muestras hasta el día  $t$ ,  $N_{0i}$  es el  $N_0$  remanente ( $\text{mg N kg}^{-1}$ ),  $N_{\text{min}(p)}$  es el  $N_{\text{min}}$  ( $\text{mg N kg}^{-1}$ ) el día anterior,  $k_T$  es la  $k$  corregida por la temperatura del suelo a 10 cm de profundidad ( $\text{d}^{-1}$ ) para el día considerado,  $Y$  es la mineralización relativa de nitrógeno (sin unidades) en función del contenido de agua del suelo estimado a 20 cm de profundidad para el día considerado, y 2,34 es el factor de conversión de  $\text{mg N kg}^{-1}$  a  $\text{kg N ha}^{-1}$  (densidad aparente de  $1,17 \text{ Mg m}^{-3}$ ). Para la estimación del  $N_{\text{min}(t)}$  hasta los 100 cm de profundidad se asumió que el resto del perfil (20 a 100 cm) mineralizó un 40 % de lo mineralizado de 0-20 cm (H. Echeverría, comunicación personal). El modelo descrito por la ecuación 2, fue aplicado a partir del día de la extracción de las muestras de suelo. Por tanto, para la estimación del  $N_{\text{min}}$  durante el ciclo del cultivo, el estimado desde aquel momento hasta la siembra, fue restado al resultado de la ecuación 2 y sumado al  $N_{\text{in}(i)}$  en la ecuación 1.

La corrección de la  $k$  por temperatura y

el factor  $Y$  de la ecuación 2 fueron calculados según lo descrito por Echeverría *et al.* (1994). La temperatura absoluta media diaria del suelo a 10 cm de profundidad fue estimada a partir de la temperatura del aire con las fórmulas propuestas por Navarro Duymovich *et al.* (1985). Para ello se recurrió a las temperaturas medias diarias del aire registradas en la Estación Meteorológica de la UIB. Los valores de contenido de agua en el suelo óptimo para la mineralización de nitrógeno (-0,01 MPa) y aquél en que el proceso se detendría por completo (-4,00 MPa), se estimaron según Travasso y Suero (1994). Los valores de contenido de agua en los primeros 20 cm del perfil fueron estimados con un paso de cálculo diario a través de un balance hídrico sencillo. Para ello se utilizaron las precipitaciones y la evapotranspiración potencial diarias (Estación Meteorológica de la UIB) y el coeficiente de evapotranspiración del cultivo y la proporción de agua consumida por el cultivo de los primeros 20 cm de perfil (A. Irigoyen, comunicación personal).

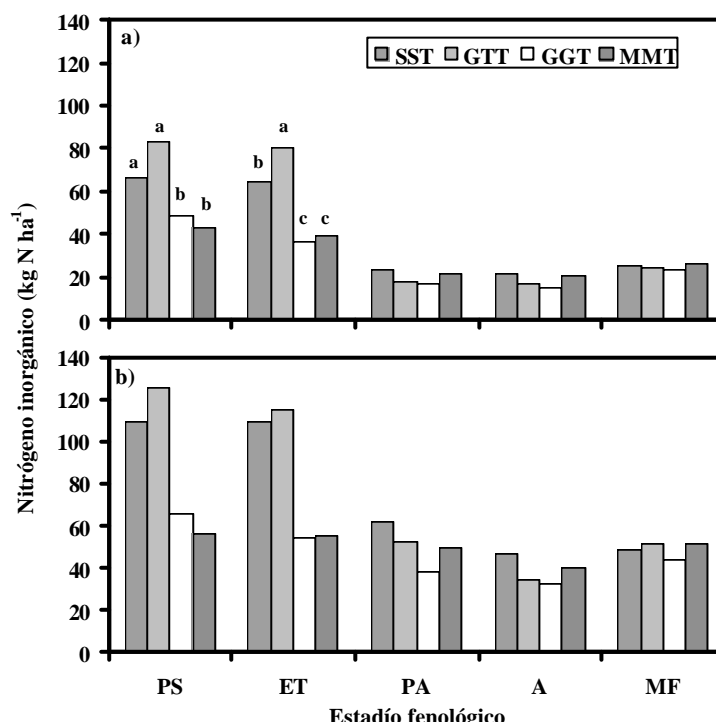


Figura 1. Contenido de nitrógeno inorgánico en los primeros 40 cm de suelo (a) y hasta 100 cm de profundidad (b) en pre-siembra (PS), espiguilla terminal (ET), pre-antesis (PA), antesis (A), madurez fisiológica (MF) del trigo con distintos antecesores (soja (SST), trigo (GTT), girasol (GGT), maíz (MMT)). Las barras acompañadas por la misma letra no difieren significativamente ( $P < 0,05$ ).

Figure 1. Inorganic nitrogen content in the surface 40 cm of soil profile (a) and up to 100 cm depth (b) at pre-sowing (PS), terminal spikelet (ET), pre-anthesis (PA), anthesis (A), physiological maturity (MF) of wheat after different preceding crops (soybean (SST), wheat (GTT), sunflower (GGT), maize (MMT)). The columns accompanied by the same letter are not significantly different ( $P < 0,05$ ).

#### 4.- Relación entre la estimación de la mineralización y el ensayo de campo

El trigo no sufrió déficit de agua que pudieran haber comprometido su rendimiento a pesar de la sequía ocurrida durante el invierno de 1995 (datos no mostrados). La forma en que fueron realizados los laboreos y las precipitaciones ocurridas durante el período crítico del cultivo (aproximadamente desde 15 días antes de A hasta 15 días después, Abbate *et al.* 1994), permitieron que el contenido de agua del perfil fuera igual o superior al 40% de agua útil durante la mayor parte del ciclo. En estas condiciones, es factible asumir que las pérdidas gaseosas de nitrógeno fueron despreciables (Videla *et al.* 1996; Picone, Videla 1998) y que aquellas por lavado también lo fueron cuando el cultivo estaba absorbiendo nitrógeno activamente. Por lo tanto, se pudo asumir que  $N_{per}$  (ecuación 1) fue 0, lo que permitió hacer la comparación entre el  $N_{min}$  estimado por el modelo (ecuación 2) y el calculado con el balance a lo largo del ciclo del trigo (ecuación 1).

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 1.- Ensayo de Campo

Las secuencias GGT y MMT

(antecesores G y M, respectivamente) presentaron significativamente ( $P < 0,05$ ) menores contenidos de  $N_{in}$  en los primeros 40 cm del perfil en los momentos PS y ET (Figura 1a) que las secuencias GTT y SST. La duración del barbecho cuando el antecesor fue T y la calidad del rastrojo del antecesor cuando éste fue S podrían asociarse a una mayor mineralización de nitrógeno lo que, junto con la mayor inmovilización provocada por la relación C/N más elevada de los rastrojos de G y de M (Lázaro 1996; Sánchez *et al.* 1998), serían las causas de tales resultados. Las tendencias también fueron así al considerar el  $N_{in}$  en el perfil de 100 cm (Figura 1b). Luego de ET los contenidos de  $N_{in}$  del suelo disminuyeron en todos los tratamientos debido al comienzo del período de más intenso consumo de nitrógeno por parte del T (Abbate *et al.* 1994).

En la Figura 2 se presenta la acumulación de MS y de Nt en la parte aérea del cultivo. Cuando el antecesor fue M, la acumulación de MS y de Nt fue significativamente menor

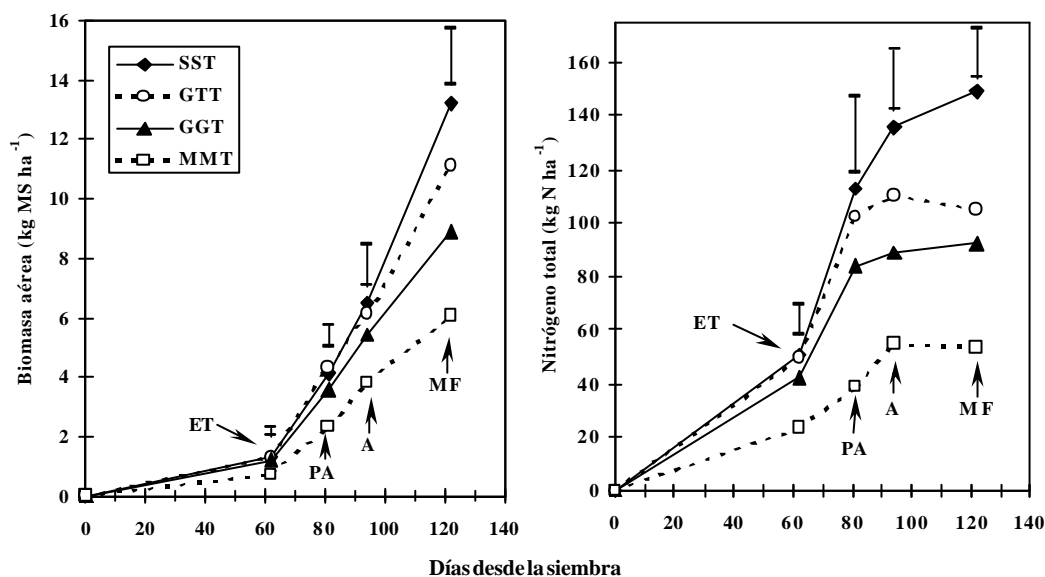


Figura 2. Acumulación de materia seca (MS) (a) y de nitrógeno (b) en la biomasa aérea hasta la madurez fisiológica del trigo con distintos antecesores (soja (SST), trigo (GTT), girasol (GGT), maíz (MMT)). ET= espiguilla terminal, PA= pre-anthesis; A= anthesis; MF= madurez fisiológica. Las barras indican diferencia mínima significativa ( $P < 0,05$ ).

Figure 2. Dry matter (MS) (a) and nitrogen (b) accumulation in the aboveground biomass until physiological maturity of wheat after different preceding crops (soybean (SST), wheat (GTT), sunflower (GGT), maize (MMT)). ET=terminal spikelet, PA=pre-anthesis, A=anthesis, MF=physiological maturity. The bars indicate the least significant difference ( $P < 0,05$ ).

( $P < 0,05$ ) que en el resto de los tratamientos en todos los momentos de muestreo. La acumulación de MS en los otros tratamientos difirió significativamente ( $P < 0,05$ ) entre ellos sólo en MF ( $SST > GTT > GGT$ ) aunque ese ordenamiento se observó también en el resto de los momentos. La acumulación de Nt en SST, GTT y GGT siguió tendencias similares a la de acumulación de MS, pero las diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre ellos comenzaron a manifestarse a partir de PA. Estos resultados coinciden con los reportados por Lázaro (1996) para otras parcelas testigo de ese ensayo quien encontró que con antecesor M, la tasa de crecimiento del cultivo de trigo durante el período de crecimiento de las espigas, había sido 48, 34 y 24% menor que cuando los antecesores habían sido T, S y G, respectivamente. Las diferencias en acumulación de MS provocaron diferencias en la intercepción de radiación fotosintéticamente activa y en la eficiencia de su utilización. Estos resultados fueron atribuidos al efecto de los antecesores sobre la dinámica de nitrógeno en el suelo, ya que el agregado de fertilizante nitrogenado redujo las diferencias entre tratamientos. Resultados similares fueron informados por Debaeke *et al.* (1996).

Todos los tratamientos difirieron significativamente ( $P < 0,05$ ) entre sí en rendimiento (5.602, 4.361, 3.649 y 2.429 kg ha<sup>-1</sup> para SST, GTT, GGT y MMT, respectivamente). El orden de los tratamientos en rendimiento fue igual al observado en acumulación de MS y de N total en la biomasa aérea (Figura 2), confirmando a través del rendimiento en grano el efecto de los antecesores sobre la disponibilidad de nitrógeno para el cultivo (Lázaro 1996).

Cabe aclarar que, a pesar de los mayores contenidos de Nin en las capas superiores del suelo (Figura 1a), el T sobre T presentó menores valores que sobre S de MS y Nt y de rendimiento. La elevada frecuencia de T en la secuencia puede hacer que perduren propágulos de *Gaeumannomyces graminis tritici*, elevando el riesgo de ocurrencia del "pietín", enfermedad que en estadíos tempranos del cultivo podría limitar la capacidad del cultivo para absorber agua y nutrientes (A. Melegari, comunicación personal).

## 2.- Ensayo de laboratorio y estimación de mineralización

No hubo diferencias significativas

Tabla 1. Resultados del ajuste no lineal de la ecuación  $N_m = N_0' (1 - e^{-kt})$  (Stanford, Smith 1972).  $N_m$  = nitrógeno mineralizado al tiempo t,  $N_0'$  = nitrógeno potencialmente mineralizable (sin considerar Extramin.),  $k$  = constante de mineralización,  $t$  = tiempo de incubación (d), Extramin. =  $N_m$  durante los primeros 14 d de incubación,  $N_0 = N_0'$  más Extramin., S= soja, T= trigo, G= girasol, M= maíz.

Table 1. Results of the non-linear fitting of the equation  $N_m = N_0' (1 - e^{-kt})$  (Stanford, Smith 1972).  $N_m$  = mineralized nitrogen at time t,  $N_0'$  = potentially mineralizable nitrogen (excluding Extramin.),  $k$  = mineralization constant,  $t$  = incubation time (d), Extramin. =  $N_m$  during the first 14 d of incubation,  $N_0 = N_0'$  plus Extramin., S=soybean; T=wheat; G=sunflower; M=maize.

Secuencia	$N_0'$	k	Extramin.	$N_0$	$R^2$
	mg N kg <sup>-1</sup>	d <sup>-1</sup>	----- mg N kg <sup>-1</sup> -----		
SST	116,5	0,0071	28,6	145,0	0,99
GTT	130,6	0,0056	28,0	158,6	0,99
GGT	123,6	0,0069	34,0	157,6	0,99
MMT	137,8	0,0066	34,0	171,7	0,99
CV (%)*	6,7	5,4	14,7	6,5	-
DMS <sub>0,05</sub> *	NS*	0,0007	NS*	20,5	-

\* CV: coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa; NS: no significativo.

( $P > 0,05$ ) entre secuencias en contenido de nitrógeno orgánico ( $2,4 \pm 0,1 \text{ g kg}^{-1}$ ), pero sí las hubo ( $P < 0,05$ ) en contenido de carbono orgánico. La secuencia MMT presentó los valores significativamente más altos ( $35,6 \text{ g kg}^{-1}$ ), mientras que las secuencias GTT y GGT no difirieron entre sí ( $31,8$  y  $32,3 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente), pero sí lo hicieron de SST ( $28,8 \text{ g kg}^{-1}$ ). Estos resultados coinciden con los reportados por Studdert y Echeverría (2000). Cabe destacar que el orden de los tratamientos de acuerdo con el contenido de carbono orgánico (MMT > GGT > GTT > SST) es inverso al mencionado para las variables de cultivo.

Hubo diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre secuencias en  $N_0$  y en  $k$  (Tabla 1). Sólo la  $k$  de la secuencia GTT fue significativamente ( $P < 0,05$ ) menor que la del resto de las secuencias, posiblemente debido a una intensa mineralización de las fracciones más lábiles de la materia orgánica durante el

prolongado barbecho (219 días). Los valores de  $k$  obtenidos en esta experiencia fueron similares a los reportados por Rizzalli *et al.* (1984) y Echeverría *et al.* (1994) para suelos del mismo tipo. Por otro lado, el orden de los  $N_0$  de las secuencias de cultivos fue muy similar al de los contenidos de carbono orgánico (MMT > GGT > GTT > SST), siendo el  $N_0$  de la secuencia MMT significativamente ( $P < 0,05$ ) mayor que el de la secuencia SST. Mayores contenidos de carbono orgánico total se asocian, por lo general, a mayores contenidos de carbono orgánico lábil (Casanovas *et al.* 1995), que presentan una tasa de reciclaje más elevada y se asocian a mayores potenciales de mineralización (Curtin, Wen 1999). Zielke y Christenson (1986) encontraron una relación lineal entre el contenido de carbono orgánico de suelos bajo diferentes rotaciones y su potencial de mineralización. Asimismo, aquellos autores encontraron que la mayor frecuencia de M en la secuencia, se relacionaba

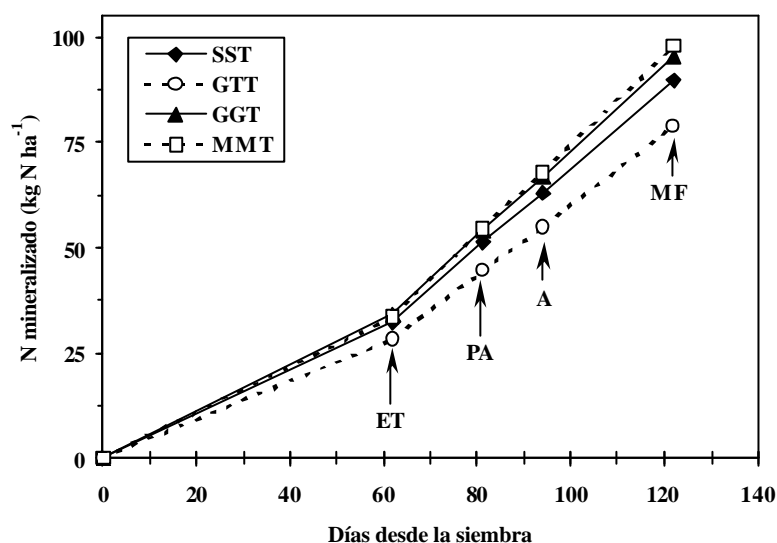


Figura 3. Nitrógeno mineralizado a partir del suelo bajo distintas condiciones de manejo (secuencias de cultivo) acumulado hasta distintos estadios fenológicos del cultivo de trigo, estimado con el modelo propuesto por Echeverría *et al.* (1994). Secuencias SST= soja-soja-trigo; GTT= girasol-trigo-trigo; GGT= girasol-girasol-trigo; MMT= maíz-maíz-trigo; ET= espiguilla terminal; PA= pre-anthesis; A= anthesis; MF= madurez fisiológica.

Figure 3. Mineralized nitrogen from soil under different crop sequences, accumulated until different stages of wheat, estimated with the model proposed by Echeverría *et al.* (1994). SST= soybean-soybean-wheat sequence; GTT= sunflower-wheat-wheat sequence; GGT= sunflower-sunflower-wheat sequence; MMT= maize-maize-wheat sequence; ET= terminal spikelet; PA= pre-anthesis; A= anthesis; MF= physiological maturity.

con mayores contenidos de carbono orgánico y, por lo tanto, con mayores potenciales de mineralización, tal como se observó en este ensayo (Tabla 1).

En la Figura 3 se presentan los resultados de la aplicación del modelo descrito por la ecuación 2. El orden de las secuencias de cultivos en lo que respecta a mineralización de nitrógeno estimada (MMT>GGT>SST>GTT) fue igual al observado para el producto ( $k \cdot N_0$ ) (1,13; 1,09; 1,03 y 0,89  $\text{mg kg}^{-1} \text{d}^{-1}$  para MMT, GGT, SST y GTT, respectivamente, Tabla 1) que, según Mary y Remy (1979), es un mejor indicador del potencial de mineralización de un suelo para poder comparar entre distintas situaciones. Los valores de nitrógeno mineralizado durante el ciclo del cultivo de T hasta los 100 cm de profundidad fueron 98,1; 95,4; 89,7 y 78,9  $\text{kg N ha}^{-1}$  para MMT, GGT, SST y GTT, respectivamente.

### 3.- Relación entre la estimación de la mineralización y el ensayo de campo

Cuando los antecesores fueron S, G, y M, los resultados del balance de nitrógeno ( $N_{\text{min}}-N_{\text{per}}$ , ecuación 1) en todos los momentos de muestreo respondieron al orden SST>GGT>MMT (Figura 4). Dicho orden es el mismo que se verificara para acumulación de MS y de Nt en la parte aérea (Figura 2) y rendimiento en grano. Por otro lado, el mencionado orden es opuesto al observado para  $N_0$ , para el producto ( $k \cdot N_0$ ) y, consecuentemente, para el nitrógeno mineralizado estimado según el modelo utilizado (ecuación 2, Figura 3). En la Figura 5 se presenta la comparación entre esta última variable y el  $N_{\text{min}}$  calculado con el balance a lo largo del ciclo del T. Los puntos ubicados a la derecha de la línea 1:1 indican que el modelo subestima el  $N_{\text{min}}$ , ya que en las fracciones evaluadas se recuperó más

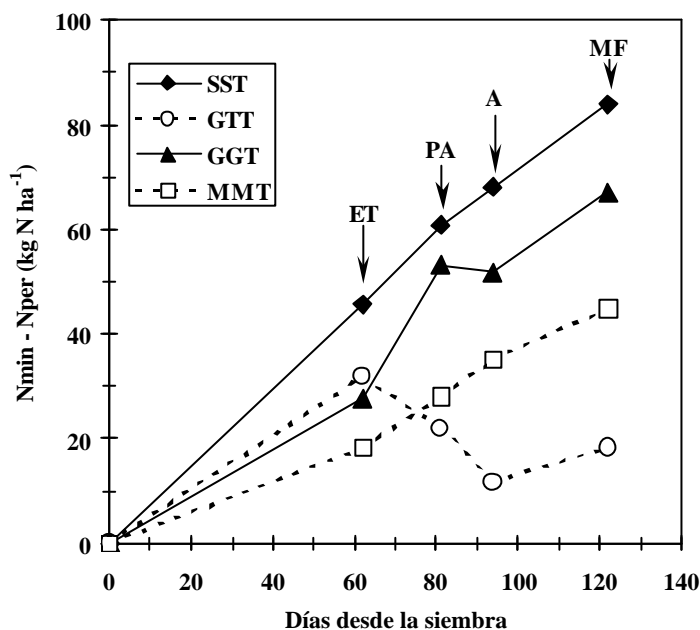


Figura 4. Resultados del balance de nitrógeno en el sistema suelo-planta hasta los 100 cm de profundidad (a) y estimación del nitrógeno perdido (b) para distintos estadios fenológicos del cultivo de trigo con distintos antecesores (soja (SST), trigo (GTT), girasol (GGT) y maíz (MMT)).  $N_{\text{min}}$ =N mineralizado;  $N_{\text{per}}$ =N perdido; ET=espiguilla terminal; PA=pre-anthesis; A=anthesis; MF=madurez fisiológica.

Figure 4. Results of the nitrogen budget in the soil-crop system up to the first 100 cm of the soil profile (a) and estimation of lost nitrogen (b) for different stages of wheat after different preceding crops (soybean (SST), wheat (GTT), sunflower (GGT), maize (MMT)). ET=terminal spikelet, PA=pre-anthesis, A=anthesis, MF=physiological maturity.



nitrógeno que el que teóricamente habría estado disponible para el cultivo. Por otro lado, los puntos ubicados a la izquierda de la línea denotan que según el modelo debería haberse recuperado más nitrógeno que el que efectivamente se recuperó, lo que posiblemente se deba a que el nitrógeno mineralizado durante el ciclo del cultivo se encontrara en fracciones no evaluadas en este estudio (p.e. inmovilizado en la biomasa microbiana o en alguna otra fracción orgánica transitoria).

Durante todo el período, el antecesor M se asoció a mayores cantidades de nitrógeno que no fue recuperado en ninguna de las fracciones evaluadas (Figura 5), lo que podría deberse a la relación C/N de sus residuos, que provoca una mineralización lenta y una intensa inmovilización del nitrógeno por los microorganismos del suelo (Sánchez *et al.* 1998). El antecesor G tuvo un comportamiento similar al anterior, aunque de menor magnitud

que el antecesor M. Por su parte, el antecesor S provocó puntos hacia la derecha de la relación 1:1 durante una buena parte del ciclo del cultivo (Figura 5). Esto estaría poniendo de manifiesto la existencia de alguna fuente adicional de nitrógeno mineralizado no contemplada en la ecuación 2. Tales fuentes podrían ser, por un lado, los residuos de S que se habrían descompuesto rápidamente debido a su baja relación C/N (Sánchez *et al.* 1998) y, por el otro, la extramineralización de la materia orgánica del suelo que podría asociarse con la incorporación de material de las características de los residuos de S en el suelo.

El antecesor T presentó puntos hacia la izquierda de la relación 1:1 durante la mayor parte del ciclo del T (Figura 5). La existencia de esta relación entre el Nmin estimado y el calculado podría estar indicando también que se produjeron pérdidas de nitrógeno más elevadas que las esperadas. En el caso del

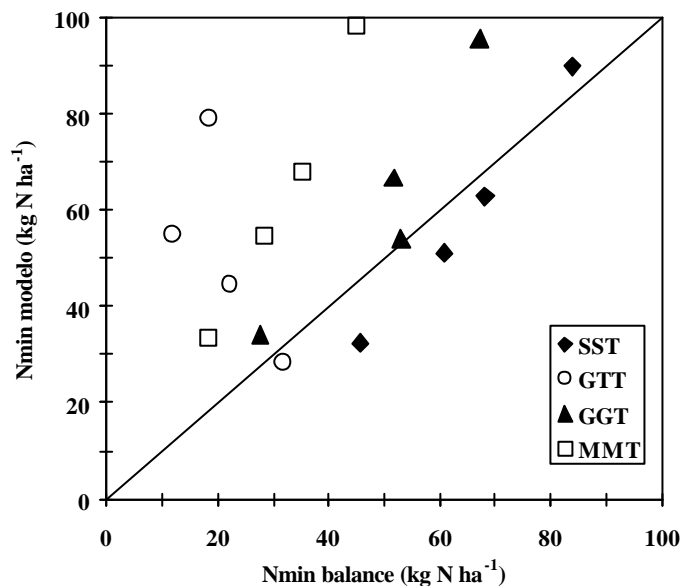


Figura 5. Comparación del nitrógeno mineralizado a partir del suelo (Nmin) estimado con el modelo propuesto por Echeverría *et al.* (1994) con el calculado por balance durante el ciclo del cultivo de trigo bajo distintas secuencias de cultivo. SST= secuencia soja-soja-trigo; GTT= secuencia girasol-trigo-trigo; GGT= secuencia girasol-girasol-trigo; MMT= secuencia maíz-maíz-trigo. La recta indica la relación 1:1.

Figure 5. Comparison of mineralized soil nitrogen (Nmin) estimated with the model proposed by Echeverría *et al.* (1994) with the mineralized soil nitrogen calculated through a nitrogen budget during wheat growing season under different crop sequences. SST= soybean-soybean-wheat sequence; GTT= sunflower-wheat-wheat sequence; GGT= sunflower-sunflower-wheat sequence; MMT= maize-maize-wheat sequence. The line indicates the relation 1:1.

antecesor T, esto podría haberse debido a pérdidas por lavado del nitrógeno disponible ( $N_{in} + N_{min}$ ) ya que su absorción habría estado limitada por el pietín, que afecta la capacidad del cultivo para absorber agua y nutrientes.

## CONCLUSIONES

Se puso de manifiesto un antagonismo entre los efectos de corto plazo (provocados por los residuos del antecesor inmediato) y los de largo plazo (provocados por la secuencia en el tiempo), ya que el antecesor S, que se asoció con el mejor comportamiento del T, formó parte de la secuencia que produjo los menores potenciales de mineralización de nitrógeno a partir del suelo y, con ello, la estimación más baja de  $N_{min}$ . Con el antecesor M y la secuencia en que intervenía este cultivo sucedió lo contrario. Estas relaciones estarían poniendo de manifiesto que el modelo propuesto por Echeverría *et al.* (1994), si bien de cierta utilidad para realizar estimaciones de la cantidad de nitrógeno que sería capaz de mineralizar un suelo a partir de su *pool* mineralizable, presenta dificultades para ser usado independientemente de otras variables que influyen sobre la dinámica del nitrógeno en el suelo para predecir la cantidad de ese nutriente que estaría efectivamente disponible para un cultivo de T. El logro de una mejor capacidad predictiva del modelo requeriría de la predicción del efecto de corto plazo de la presencia en el sistema de material vegetal en descomposición en función de su calidad, cantidad y forma física.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al personal de campo y de laboratorio de la UIB por la ayuda prestada para la realización de este trabajo. Trabajo financiado por el Proyecto de Investigación Estratégica del INTA 80-033, el Proyecto de Investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP) 15/A060 y el Proyecto PICT-97 08-00089.

## REFERENCIAS

Abbate PE, Andrade F, Culot J P. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín técnico N°133. EEA INTA Balcarce. 17pp.  
Badaruddin M, Meyer DW. 1994. Grain legume

effects on soil nitrogen, grain yield, and nitrogen nutrition of wheat. *Crop Sci.*, 34:1304-1309.  
Bremner J, Keneey D. 1985. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrite, and nitrate. *Annal. Chem. Acta*, 32:485-495.  
Bremner JM, Mulvaney C. 1982. Nitrogen total. In: Page A L *et al.* (eds.) *Methods of soil analysis. Part 2 Agron. Monog 9 ASA and SSSA*, Madison, Wisconsin, EEUU. pp. 595-624.  
Casanovas EM, Studdert GA, Echeverría HE. 1995. Materia orgánica del suelo bajo rotaciones de cultivos. II. Efecto de los ciclos de agricultura y pastura. *Ciencia del Suelo* 13:21-27.  
Curtin D, Wen G. 1999. Organic matter fractions contributing to soil nitrogen mineralization potential. *Soil Sci. Soc. Am.* 63:410-415.  
Debaeke Ph, Aussenac Th, Fabre JL, Hilaire A, Pujol B, Thuries L. 1996. Grain nitrogen content of winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) as related to crop management and to the previous crop. *European J. Agron.*, 5:273-286.  
Echeverría H, Bergonzi R, Ferrari J. 1994. Un modelo para estimar la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Ciencia del Suelo*, 12:56-62.  
Keeney DR, Nelson DW. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: Page A L *et al.* (eds.) *Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monog 9 ASA and SSSA*, Madison, Wisconsin, EEUU. p. 643-698.  
Lázaro L. 1996. Determinación del rendimiento de trigo ante cambios en la disponibilidad de nitrógeno generados por distintos cultivos antecesores. Tesis de *Magister Scientiae*. Curso de Post-Grado en Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires. 41 pp.  
Loiseau P, Chaussod R, Delpy R. 1994. Soil microbial biomass and in situ nitrogen mineralization after 20 years of different nitrogen fertilization and forage cropping systems. *European J. Agron.*, 3:327-332.  
Mary B, Remy JC. 1979. Essai d'appréciation de la capacité de minéralisation de l'azote des sols de grande culture. 1 Signification des cinétiques de minéralisation de la matière organique humifiée. *Ann. Agron.* 30:513-527.  
Meisinger JJ. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems. In: Hauck R D (ed.) *Nitrogen in crop production. Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, Wisconsin, EEUU. p.391-416.  
Navarro C, Echeverría H, Fonalleras M, Manavella, F. 1991. Efecto de los contenidos de humedad sobre la mineralización del nitrógeno en suelos

- del Sudeste Bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 9:13-19.
- Navarro Duymovich M, Della Maggiora A, Vidal N. 1985. Estimación de la temperatura media mensual del suelo en función de parámetros climáticos para Balcarce (provincia de Buenos Aires). Unidad Integrada Facultad de Ciencias Agrarias-Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. 14 pp.
- Nelson DW, Sommers LE. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page A L *et al.* (eds.) *Methods of soil analysis. Part 2 Agron. Monog 9 ASA and SSSA*, Madison, Wisconsin, EEUU. p. 539-579.
- Picone LI, Videla C. 1998. Relaciones entre la tasa de desnitrificación y el contenido de nitratos, humedad y carbono orgánico soluble del suelo en un cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo*, 16:77-82.
- Rice CW, Havlin JL. 1994. Integrating mineralizable nitrogen indices into fertilizer nitrogen recommendations. In: Havlin J L, Jacobsen, J S (eds) *Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations*. SSSA Sp. Pub. 40. Soil Sci. Soc. Am., Madison Wisconsin, EEUU. pp. 1-13.
- Rizzalli RH, Navarro CA, Echeverría HE. 1984. Efecto del manejo y estación del año sobre la capacidad de mineralización y biomasa total en un Argiudol típico del sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 2:61-67.
- Sánchez SR, Studdert GA, Echeverría HE. 1998. Dinámica de la mineralización del nitrógeno de residuos en descomposición en un Argiudol típico. *Ciencia del Suelo*, 16:1-6.
- Stanford G, Smith SJ. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36:465-472.
- Studdert GA, Echeverría HE. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64: (en prensa).
- Studdert GA, Rizzalli RH. 1994. Rotaciones mixtas: efecto de los años de agricultura sobre el rendimiento del trigo. In: *Actas "III Congreso Nacional de Trigo y Primer Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño Invernal"*, Bahía Blanca. 26-28 de octubre de 1994. pp. 93-94.
- Travasso MI, Suero EE. 1994. Estimación de la capacidad de almacenaje de agua en suelos del sudeste bonaerense. *Boletín técnico N°125*. EEA INTA Balcarce, 9 pp.
- Videla C, Ferrari J, Echeverría HE, Travasso MI. 1996. Transformación del nitrógeno en un cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo* 14: 1-6.
- Zielke RC, Christenson DR. 1986. Organic carbon and nitrogen changes in soil under selected cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am.* 50:363-367.