

INCUBACION ANAEROBICA DEL SUELO COMO DIAGNOSTICO DE LA RESPUESTA A NITROGENO DEL MAIZ BAJO SIEMBRA DIRECTA

PA CALVIÑO¹, HE ECHEVERRÍA²

¹CREA Tandil 1. E-mail: pcalvino@infovia.com.ar Bolivar 710, (7000) Tandil, Argentina. ²Unidad Integrada EEA INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP). E-mail: hecheverr@balcarce.inta.gov.ar C.C. 276, (7620) Balcarce, Argentina.

Recibido 28 de febrero de 2002, aceptado 27 de mayo de 2003

SOIL ANAEROBIC INCUBATION AS AN AID FOR PREDICTING NITROGEN FERTILIZER RESPONSE OF MAIZE UNDER NO-TILLAGE

There is a lack of information on the applicability of soil methods to evaluate maize response to nitrogen fertilization. The aims of this work were to determine the relationships between soil nitrate concentration (0-30 cm) at four-five leaves stage (V4-V5) of maize and soil anaerobic nitrogen incubation (Nan) with the response of maize to nitrogen fertilization. With this purpose 41 field experiments were conducted in the southeast of Buenos Aires Province (Argentina), between 1998 and 2001. The experiments were carried out with maize under no-tillage with a randomized complete block design with two treatments (0 and 60 kg N ha⁻¹). Nan were determined on soil samples taken at sowing and incubated for seven days at 40°C. The response of maize to nitrogen fertilization was not related to soil nitrate concentration at V4 stage ($r^2 = 0,04$). The use of these methods are not recommended for evaluating maize response to nitrogen fertilization. Otherwise, the response of maize was related to soil nitrate concentration at V5 stage ($r^2 = 0,27$). The response of maize to nitrogen was related with Nan (if Nan < 48 mg kg⁻¹ then the yield increment = 72,5 - 1,38 Nan, if Nan > 48 mg kg⁻¹ the yield increment = 6 %). Nan was related with the time (years) since the last pasture ($r^2 = 0,39$). These results suggest that Nan probably is associated with light carbon fractions and can be used to explain the response of maize to nitrogen fertilization in no-tillage systems.

Key words: Maize, nitrogen fertilization, anaerobic incubation, soil nitrate.

INTRODUCCION

El sudeste de la Provincia de Buenos Aires, posee clima templado húmedo y suelos con elevado contenido de materia orgánica (Studdert *et al.* 1997). A pesar de esto, la intensificación de la actividad agrícola ha provocado que muy frecuentemente se presenten deficiencias de nitrógeno. En dicha zona, en los últimos años se ha registrado un notorio incremento del sistema denominado siembra directa, el que se caracteriza por la elevada cobertura de rastrojos y por una menor disponibilidad de nitrógeno mineral, que los suelos mantenidos sin cobertura (Domínguez *et al.* 2001).

El cultivo de maíz ocupa una alta proporción de la superficie destinada a la cosecha de cultivos de verano y los productores generalmente realizan la fertilización nitrogenada al voleo a la siembra o en presiembra y las dosis son habitualmente determinadas según el método del balance (Meisinger 1984). No obstante, la fertilización nitrogenada en el estadio de seis hojas (V6) (Ritchie, Hanway 1982) gene-

ralmente es más eficiente que la realizada a la siembra o presiembra (Wells *et al.* 1992, Sainz Rozas *et al.* 1999). El mayor rendimiento cuando el nitrógeno es aplicado en V6 sería consecuencia de las menores pérdidas por desnitrificación (Wells, Bitzer 1984; Sainz Rozas, Echeverría 2001), inmovilización (Jokela, Randall 1997), y lavado (Thomas *et al.* 1973), debido a la reducción en el contenido de agua en el suelo (Jokela, Randall 1997), asociada al consumo por el cultivo.

Para el estadio de V6, se ha sugerido como método de diagnóstico de las necesidades de nitrógeno, las determinaciones de nitratos en suelo hasta los 30 cm (Magdoff *et al.* 1984; Binford *et al.* 1992; Sainz Rozas *et al.* 2000). Para las condiciones del sudeste de Buenos Aires, el principal inconveniente de este método es el escaso tiempo disponible entre la toma de las muestras en V6 y la fertilización del cultivo, cuando las superficies a fertilizar son grandes. En los casos en que se ha estudiado dicho método, los lotes provienen de similar

cultivo antecesor, generalmente de cosecha gruesa, y por lo tanto poseen escaso tiempo con temperaturas capaces de producir intensa mineralización luego de la cosecha. De esta forma, el contenido de nitratos en el estadio de V6, actúa como un indicador de la capacidad de mineralización del nitrógeno endógeno del suelo con posterioridad a las bajas temperaturas invernales (Magdoff *et al.* 1984; Binford *et al.* 1992). En algunas regiones, como en Nebraska, USA (Hergert *et al.* 1995), corrigen el diagnóstico efectuado con este método en función de la cantidad de años desde la última pradera y por el contenido de materia orgánica, como indicadores de diferente capacidad de mineralización. En este sentido, se ha determinado que cuando el antecesor es pradera el método pierde precisión (Sainz Rozas *et al.* 2000).

Los suelos del sudeste bonaerense presentan altos contenidos de materia orgánica en el horizonte superficial, por lo que la capacidad de mineralización de nitrógeno durante los cultivos de verano puede ser muy elevada. De acuerdo a estimaciones de mineralización, es factible que estos suelos liberen entre 50 y 250 kg de N ha⁻¹ con buena disponibilidad hídrica, durante el ciclo del cultivo de maíz (Echeverría, Bergonzi 1995). El N mineralizable (No) es determinado en incubaciones aeróbicas de larga duración (224 d), lo que constituye un impedimento para su uso en la práctica. Una alternativa la constituye la incubación anaeróbica (Nan) de muestras de suelo por 7 o 14 d (Keeney, Nelson 1982) por estar asociada a No (Echeverría *et al.* 2000). De todos modos, no se ha reportado la posibilidad de emplear el Nan como método de diagnóstico de la respuesta a nitrógeno.

Se plantea la posibilidad de emplear el Nan a la siembra del maíz como herramienta complementaria de la concentración de nitratos del suelo en V4 y V5 para el diagnóstico de necesidades de nitrógeno. Los objetivos de este trabajo fueron: establecer la relación entre el contenido de nitratos en el suelo al estadio de V4 y V5 del cultivo de maíz y el Nan a la siembra del mismo con la respuesta a la fertilización nitrogenada.

MATERIALES Y METODOS

La experiencia se desarrolló en estableci-

mientos del partido de Tandil, Provincia de Buenos Aires, entre las campañas agrícolas 1998/99 y la 2001/2002, sobre suelos Argiudoles Típicos sin limitaciones en profundidad y con pendientes entre 0,3 y 1%. En los 20 cm superiores de suelo, el contenido de materia orgánica varió entre 6 y 6,6%, el valor de pH entre 5,6 y 6,2 y la textura es franca. En total se condujeron 43 ensayos de fertilización nitrogenada en maíz bajo el sistema de siembra directa, con un nivel inicial de cobertura por rastrojo superior al 90%. En todos los casos las siembras se hicieron en el mes de octubre. El suelo en todos los casos, se mantuvo libre de malezas durante periodos mayores a 120 días previos al momento de la siembra. En el primer año, seis ensayos recibieron riego por surco (lamina bruta de 50 mm 15 d previo a antesis). El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados, con tres repeticiones y la respuesta a nitrógeno fue estudiada empleando en todos los casos 0 y 60 kg N ha⁻¹, en forma de nitrato de amonio en los tres primeros años y como urea en el último, aplicados al voleo en V4 en el primer año y en V5 en los siguientes. Las unidades experimentales fueron de 4 surcos de maíz por 7 m de largo. En el primer año en cada sitio se realizaron 2 ensayos. A la mitad de las parcelas de cada sitio se aplicaron 18 kg N ha⁻¹ como urea en el día de la siembra. De esta forma, estos ensayos presentaron el mismo valor de Nan y de años de agricultura que los que no recibieron esta fertilización.

Se realizaron muestreos de suelo a la siembra del cultivo (0-20 cm) y se efectuaron incubaciones anaeróbicas a 40°C por 7 d (Keeney, Nelson 1982). Finalizado dicho período se determinó el contenido de nitrógeno mineralizado como amonio (N-NH₄⁺). El N-NH₄⁺ fue determinado por micro destilación por arrastre de vapor (Keeney, Nelson 1982). En el estadio V4 del maíz en el primer año y en V5 en los siguientes, se determinó el contenido de nitratos en el suelo (0-30cm), también por micro destilación por arrastre de vapor (Keeney, Nelson 1982).

El rendimiento en grano fue determinado cosechando manualmente las espigas a lo largo de 5 m de los dos surcos centrales. Las espigas se desgranaron con una trilladora estacionaria. Los granos fueron pesados y su humedad fue determinada con un humidímetro A79 de Tesma SAIC. El número de plantas y de espigas fue contado en el momento de la cosecha. El peso de 1000 granos se obtuvo a partir de una muestra de 500 granos secados en estufa hasta peso constante. Se determinó la respuesta al agregado de nitrógeno como el cociente entre la diferencia del tratamiento fertilizado menos el testigo y el tratamiento fertilizado, multiplicado por 100.

La asociación entre las variables medidas fue determinada por relaciones de tipo lineal-meseta y logarítmica.

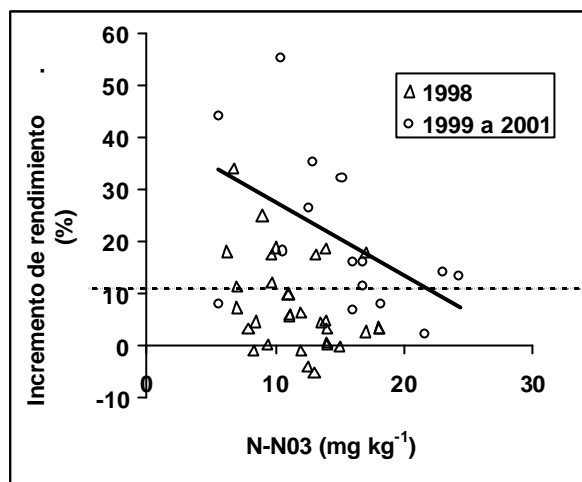


Figura 1. Relación entre el incremento de rendimiento por el agregado de nitrógeno en maíz y el contenido de nitrato en el suelo (0-30 cm) en el estadio V4 del maíz en 1998 y en V5 en 1999 a 2001. La línea representa el ajuste del modelo de 1999 a 2001: Incremento de rendimiento = $41,4 - 1,4 \text{ N-NO}_3$; $r^2 = 0,27$; $P < 0,05$.

Figure 1. Relationship between yield increase of maize by nitrogen fertilization and soil nitrate concentration at V4 stage of maize in 1998 and in V5 in 1999 to 2001. The line represente the fitted model of 2000/2001: Yield increment = $41,4 - 1,4 \text{ N-NO}_3$; $r^2 = 0,27$; $P < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los rendimientos de grano de maíz presentaron una amplia variabilidad, observándose rendimientos para las distintas situaciones de secano entre 4,5 y 13,4 Mg ha⁻¹ y para las parcelas con riego complementario entre 8,5 y 11 Mg ha⁻¹. Las principales diferencias de

rendimiento entre sitios fueron consecuencia de la variabilidad de las precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo en el período previo a la floración.

En la Figura 1 se presenta la relación entre los contenidos de nitratos en el suelo de 0 a 30 cm en V4-V5 con la respuesta a la aplica-

Tabla 1. Precipitaciones y rendimiento promedio de maíz en los establecimientos donde se condujeron los ensayos

Table 1. Precipitation and mean grain yield of maize in the founding where the trials were made.

Campaña agrícola	Establecimiento	Ensayos por sitio	Precipitaciones			Promedio de los rendimientos máximos de los ensayos de cada establecimiento Mg ha ⁻¹
			21/9-30/9	1/10-1/12	1/1-31/9	
		Nº	mm	mm	mm	
1998-99	Lfu	4	92	164	361	7591
	EN	6	142	142	354	9105
	SG	8	225	102	267	5208
	SL	10	205	113	291	6243
1999-00	HH	2	33	260	314	8093
	My	2	37	186	299	8844
	EN	2	43	229	368	8788
	EP	2	36	179	304	9289
	SL	1	43	222	389	11906
2000-01	My	2	28	238	361	11416
	SL	2	41	261	380	12392
2001-02	Mv	2	58	286	544	9940

Lfu=Lauraleofu, EN = El Negro, SG = San Gabriel, SL = San Lorenzo, HH = Huaca Hue, EP = El Parque, My = Mary.

ción de 60 kg N ha^{-1} . Dicho parámetro no resultó ser un buen indicador de la respuesta a la aplicación de dicho nutriente ($r^2=0,04$, $P>0,05$). Esto probablemente se pudo deber a que en todos los ensayos de la campaña 1998-99, a fin de septiembre se produjeron precipitaciones de 90 a 170 mm (Tabla 1), las que probablemente produjeron lavado de nitratos del espesor de suelo muestreado. A su vez, en dicha campaña, el muestreo se realizó en el estadio de V4 (en lugar de V6), disminuyendo la capacidad de poder captar el nitrógeno proveniente de la mineralización desde la fracción orgánica del suelo, producida como consecuencia del incremento de temperatura en primavera (en Tandil, la temperatura promedio del mes de octubre es de $13,1 \text{ }^\circ\text{C}$ y en noviembre de $15,8 \text{ }^\circ\text{C}$). Estos resultados constituyen una primera evidencia de la pérdida de precisión de este método de diagnóstico, como consecuencia de anticipar el muestreo de suelo, especialmente en regiones de bajas temperaturas. En cambio, en los ensayos de las campañas agrícolas siguientes, en los cuales los muestreos se realizaron en el estadio de V5, el contenido de nitratos en suelo se relacionó con la respuesta a la fertilización nitrogenada ($r^2 = 0,27$, $P<0,05$). Esta información enfatiza la necesidad de muestrear en el estadio de V5 o V6, tal como lo

recomiendan Magdoff *et al.* (1984) y Sainz Rozas *et al.* (2000). A pesar de la relación encontrada, se observa que a valores bajos de nitratos hay alta variabilidad en la respuesta al agregado de nitrógeno.

En la Figura 2 se presenta la relación entre los contenidos de Nan en el suelo con la respuesta a la aplicación de nitrógeno por el cultivo de maíz. Se observa que el Nan se asocia al incremento de rendimiento por la fertilización según un modelo de tipo lineal-meseta ($r^2=0,28$). Según el mismo, por cada incremento en un mg kg^{-1} de Nan se produce una disminución de 1,38 % en la respuesta al agregado de nitrógeno, hasta los 48 mg kg^{-1} de Nan. Con contenidos de Nan por encima de este valor, no se registran incrementos de los rendimientos por la fertilización nitrogenada. Analizando sólo los ensayos que tuvieron rendimientos mayores a 6 Mg ha^{-1} , la respuesta se explica con un modelo similar ($r^2=0,30$, $P<0,01$). En este caso se produce una disminución de 1,8 % en la respuesta al agregado de nitrógeno, por cada incremento en un mg kg^{-1} de Nan, hasta los $47,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ($y = 91,4 - 1,82x$). Este mayor cambio de la pendiente de respuesta al agregado de nitrógeno, en los ensayos de mayor rendimiento, sugiere una mayor eficiencia de utilización del nitrógeno liberado desde el

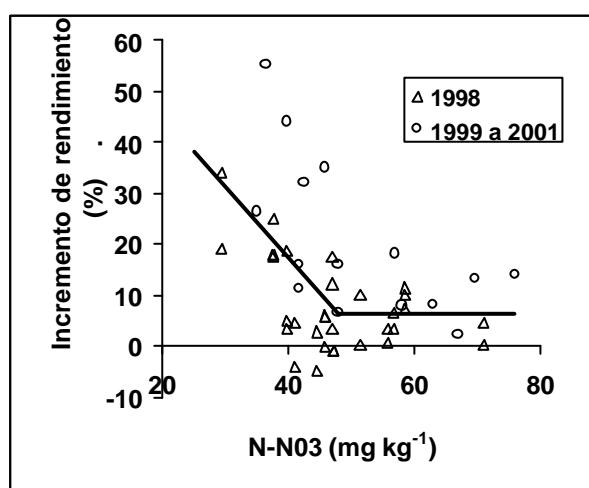


Figura 2: Relación entre la cantidad de nitrógeno acumulado por incubación anaeróbica de 7 d a 40°C (Nan) de los 20 cm superiores de suelo y la respuesta a la aplicación de nitrógeno en 1998 a 2001. Incremento de rendimiento = $72,5 - 1,38 \text{ Nan}$ $c = 48$ $r^2=0,28$.

Figure 2: Relationship between soil nitrogen accumulated by anaerobic incubation for 14 d at 40°C of upper 20 cm of soil and yield increase of maize by nitrogen fertilization in 1998 to 2001. Yield increment = $72,5 - 1,38 \text{ Nan}$ $c = 48$ $r^2=0,28$.

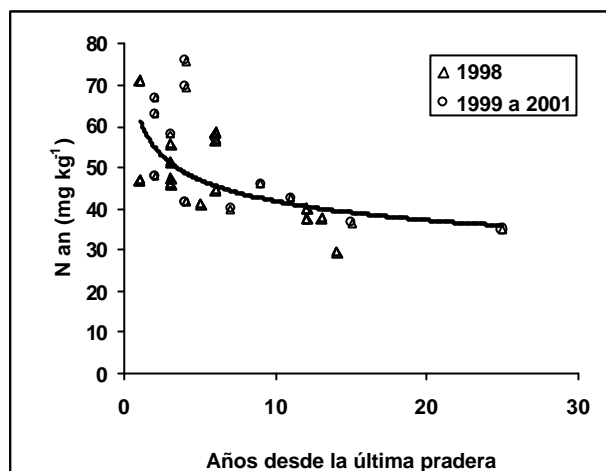


Figura 3. Relación entre la cantidad de nitrógeno acumulado por incubación anaeróbica de 14 d a 40°C (Nan) de los 20 cm superiores de suelo y el tiempo desde la última pradera. $Nan = 61.46 AA^{-0.167}$ $r^2 = 0,39$; $P < 0,01$.

Figure 3. Relationship between soil nitrogen accumulated by anaerobic incubation for 14 d at 40°C of upper 20 cm of soil and the time from the last pasture in 1998 and 1999 to 2001. $Nan = 61.46 AA^{-0.167}$ $r^2 = 0,39$; $P < 0,01$.

suelo. De todos modos, los resultados presentados sugieren que este método puede resultar útil para explicar la respuesta al agregado de nitrógeno en maíz, en particular en aquellas situaciones en las que los aportes durante el ciclo del cultivo pueden ser relevantes, como es el caso de los suelos del Sudeste Bonaerense con alto contenido de materia orgánica.

Curtin y Wen (1999) señalan que los métodos de incubación rápida pueden ser buenos predictores de la capacidad de mineralización del suelo, la que está íntimamente relacionada con las fracciones livianas de carbono del suelo. Por su parte Studdert *et al.* 1997, trabajando en labranza convencional en suelos similares a los empleados en esta experiencia, señalaron que la mayor disminución de las fracciones livianas de carbono se produce en los tres años siguientes a la roturación de una pradera. En la Figura 3 se presenta la relación entre los valores de Nan y los años desde la última pradera de cada lote. Se observa una relación entre estas variables ($r^2=0,39$; $P \leq 0,01$), con una mayor disminución en los valores de Nan en los primeros años posteriores a la pastura. En base a esto es factible hipotetizar que el Nan es un adecuado estimador de la concentración de las fracciones livianas de carbono. La respuesta a la aplicación de nitrógeno aumentó en forma lineal con el aumento de los años de agricultura desde la última pradera ($r^2=0,33$; $P < 0,01$). Probablemente

te por el aporte de nitrógeno en los primeros años después de la pradera a partir de las fracciones livianas carbono del suelo (Studdert *et al.* 1997). A pesar de la relación encontrada, utilizar el parámetro años de agricultura para el diagnóstico, puede resultar errático por haber diferencias entre otros factores: en el tipo de praderas, en la duración de ellas, en el tipo de rastrojo del cultivo anterior y en la extracción de los cultivos anteriores, y en las condiciones de mineralización de cada sitio.

En síntesis, para el cultivo de maíz bajo siembra directa se concluye que para el estadio de V5, la concentración de nitrato en el suelo (0 a 30 cm) se asoció al incremento de rendimiento por la fertilización nitrogenada y que el Nan, determinado sobre muestras de suelo tomadas a la siembra (0-20 cm) resultó ser un parámetro promisorio para contribuir a explicar el incremento de rendimiento por la fertilización nitrogenada y se asoció a la historia agrícola de los lotes evaluados.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo brindado por los productores del Grupo CREA Tandil 1. Trabajo parcialmente financiado por el Proyecto de Investigación de la UNMP 15/A107.

BIBLIOGRAFIA

Binford GD, Blackmer AM, Cerrato ME. 1992. Relationships between maize yields and soil

- nitrate in late spring. *Agron. J.* 84: 53-59.
- Curtin D, Wen G.. 1999. Organic matter fractions contributing to soil nitrogen mineralization potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:410-415.
- Domínguez GF, Studdert GA, Echeverría HE, Andrade FH. 2001. Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del Suelo* 19:47-56.
- Echeverría HE, Bergonzi R. 1995. Estimación de la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste bonaerense. *Boletín Técnico* 135. Est. Exp. Agrop. INTA Balcarce. 15pp.
- Echeverría HE, San Martín N, Bergonzi R. 2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. *Ciencia del Suelo* 18:9-16.
- Hergert GW, Ferguson RB, Shapiro CA. 1995. Fertilizer suggestions for corn. *NebGuide*. Institute of Agriculture and Natural Resources. University of Nebraska. G74-174-A.
- Jokela WE, Randall GW. 1997. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time and rate of application on maize. *Soil Sci. Am. J.* 61:1695-1703.
- Keeney DR, Nelson DW. 1982. Nitrogen inorganic forms. *En* A.L. Page et al (ed) *Methods of Soil Analysis*. Part 2 *Agron. Monog* 9 ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, EEUU. p: 643-698.
- Magdoff FR, Ross D, Amadon J. 1984. A soil test for nitrogen availability to maize. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1301-1304.
- Meisinger JJ. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems. p. 391-416. *En* R.D. Hauck et al. (eds.) *Nitrogen in crop production*. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
- Ritchie SW, Hanway JJ. 1982. How a maize plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames Iowa. Special Report N° 48.
- Sainz Rozas HR, Echeverría H E. 2001. Denitrification in maize under no-tillage: effect of nitrogen rate and application time. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 65:1314-1323.
- Sainz Rozas HR, Echeverría HE, Studdert GA, Andrade F.H. 1999. No-till corn nitrogen uptake and yield: effect of urease inhibitor and application time. *Agron. J.* 91:950-955.
- Sainz Rozas HR, Echeverría HE, Studdert GA, Domínguez G, 2000. Evaluation of pre-sidedress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. *Agron. J.* 92:1176-1183.
- Studdert GA, Echeverría HE, Casanovas EM. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1466-1472.
- Thomas GW, Blevins RL, Phillips RE, McMahon MA. 1973. Effect of a killed sod mulch on nitrate movement and maize yield. *Agron. J.* 65: 736-739.
- Wells KL, Bitzer MJ. 1984. Nitrogen management in the no-till system. p. 535-549. *En* R.D. Hauck et al. (eds.) *Nitrogen In Crop Production*. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
- Wells KL, Thom WO, Rice HB. 1992. Response of no-till maize to nitrogen source, rate, and time of application. *J. Prod. Agric.* 5:607-610.