

Respuestas y Diagnóstico de Respuestas a Nitrógeno y Azufre en el Cultivo de Maíz en el Sur de la Pcia. de Santa Fe bajo Distintos Sistemas de Remoción del Suelo

*Jorge González Montaner, Marcelo Di Napoli y Ezequiel Teco.
Cátedra de Cerealicultura, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires,
Av. San Martín 4453 (CP 1417) Buenos Aires. Argentina.*

Introducción

Una manifestación clara del deterioro de los suelos es la pérdida de materia orgánica. Este fenómeno es particularmente notable para el norte de la región pampeana (Michelena y col. 1989; Andriulo 1995) y conduce a una disminución en el contenido de nutrientes relacionados con la misma, como nitrógeno y azufre. Mientras que las respuestas de los cultivos en la región son un fenómeno documentado desde hace tiempo (Barberis y col. 1985), en los últimos años comienzan a aparecer estudios que demuestran respuestas a la aplicación de S. En el oeste de la región, las respuestas a S se asocian a elevados rendimientos (G.Montaner com.pers.) y a una condición natural de bajos tenores de materia orgánica, como los reportados para trigo por Ventimiglia y col (1998). En la zona norte se ha detectado respuestas en el cultivo de soja (Martinez y col. 1998) relacionadas a suelos con muchos años de uso agrícola continuo, en siembra directa y con altos niveles de fertilización nitrogenada y fosfatada. Los objetivos de este trabajo fueron: a-Analizar respuestas en rendimiento a la aplicación de N y S en el cultivo de maíz, en función del sistema de labranzas y b-Detectar variables de suelo, ambiente y manejo para elaborar criterios tentativos de diagnóstico de estado nutricional azufrado.

Materiales y métodos

Se condujeron 27 ensayos en lotes de producción de maíz durante los años 1994 a 1998, combinando sistemas de laboreo y fertilización con N y S sobre un suelo Argiudol vértico en Las Rosas, Pcia de Santa Fe. Los sitios empleados poseen historia agrícola bajo labranza convencional, siendo soja el cultivo antecesor. El diseño experimental fue parcelas divididas, asignándose el laboreo a la parcela principal y la fertilización a las subparcelas. Los sistemas de laboreo fueron agrupados en dos categorías: a-Con alta remoción de suelo (CR), 17 sitios donde se emplearon distintas herramientas de labor principal (Reja; Cíncel o Subsolador) y b- Con baja remoción (SR), 10 sitios, empleando cultivadores o sembradoras de directa. Los tratamientos de fertilización consistieron en: a-Testigo (T0); b-Nitrógeno (N) y c- Nitrógeno +Azufre (NS). En el tratamiento N se utilizó una dosis variable entre 30 a 45 kg de N/ha en forma de urea, mientras que para el tratamiento NS la dosis de S varió de 20 a 30 kgS/ha en función de la fuente empleada: sulfato de potasio (año '94), sulfato de amonio o Sulfonitrato de amonio (años '95 a '98). Los tratamientos N y NS recibieron una dosis de N equivalente dentro de cada ensayo para revelar el efecto aditivo del S a partir de la diferencia de respuesta entre ambos tratamientos. En todos los casos las aplicaciones se hicieron a la siembra del cultivo con incorporación. La correcta nutrición fosforada se aseguró aplicando una dosis de 80 a 100 de kgPDA/ha.

Previo a la siembra del cultivo se tomaron muestras de suelo superficiales (0-20cm) para el análisis de: carbono total (Ct); nitrógeno total (Nt) y sulfatos (Sin). Muestras hasta los 60 cm de profundidad fueron empleadas para determinar el contenido de N-NO₃ (Nin). A floración se determinó la densidad aparente superficial (Dap. 0-15cm). Sobre el cultivo, al estado de 4 a 6 hojas expandidas, se muestrearon plantas del tratamiento T0 para determinar, en el jugo de base de tallos, la concentración de NO₃ (NO₃JBT. González Montaner y col. 1992). A madurez del cultivo se cosecharon plantas de cada tratamiento para evaluar rendimiento y sus componentes, peso y número de granos.

Resultados y discusión

1-Condiciones ambientales y variabilidad de rendimientos entre campañas:

Los rendimientos medios fluctuaron desde 4809 kg/ha ('96) hasta 10007 kg/ha ('95) (Cuadro 1).

Cuadro 1: Promedios de rendimiento, componentes y factores ambientales para las campañas analizadas

				Lluvias		T. med.	T.máx.
	Rinde	NroGran	Peso Gran	Nov-Ene	Febr.	Oct-Ene	Ene
Año	kg/ha	Gran/m2	mg/gran	mm		C°	
94	9559	2957	323.3	496	113	21.8	29.6
95	10007	2934	341.1	258	154	22.0	30.7
96	4809	1636	294.5	325	65	22.8	33.5
97	7894	2933	289.2	458	102	21.1	29.4
98	9882	3272	301.4	323	84	21.5	30.4

Tanto el peso como el número de granos contribuyeron a la variabilidad de rendimientos: los mayores rindes del '95 y '98 se produjeron por el alto número de granos ('95 y '98) y por el peso de los mismos ('95). El peso de granos estuvo básicamente determinado por la condición hídrica del período de llenado, como lo indica la elevada asociación entre las lluvias de febrero y este componente de rendimiento ($r=+0.85$). La variabilidad en el número de granos estuvo motivada por el estado hídrico del cultivo y el ambiente térmico. Así es que para la campaña 96, las elevadas temperaturas durante el período vegetativo, que acentuaron la deficiencia hídrica, y las temperaturas máximas de enero, determinaron la deficiente fijación de granos de ese año.

2-Respuestas a la fertilización

En el Cuadro 2 se muestran los promedios de rendimiento testigo, magnitud y frecuencia de respuestas a la fertilización para las poblaciones con y sin respuesta en cada sistema de remoción de suelo. Para la condición CR en solo 2 de los ensayos (11.7%) se obtuvieron respuestas exclusivas a N, con un rinde testigo de 9252 kg/ha y una respuesta media de 740.5 kg/ha. Las respuestas a S ocurrieron en 3 sitios (17.6%) con un promedio de incremento en rinde de 1193 kg/ha, y la aplicación conjunta de N y S generó respuestas significativas en el 23.5% de los ensayos, con un incremento de rendimiento promedio de 1945 kg/ha. En la mayor proporción de casos (47%) no se obtuvieron respuestas a ninguno de los nutrientes estudiados.

Cuadro 2: Rendimiento testigo (T0), respuestas a N (N), S (S), N+S (NS) y frecuencia de respuestas (n) para las distintas poblaciones de respuesta en los sistemas con remoción (CR) y sin remoción (SR).

			Respuesta promedio			
			T0	N	S	NS
Sistema	Grupo de Rta	n	Kg/ha			
CR	N	2	9252	740.5	-120.5	620
	S	3	4223	-354.1	1193	838.8
	NS	4	8304	964.8	980.3	1945.0
	S/Rta	8	8126	-217.8	135	-82.8
SR	N	3	8708	1408.3	-318	1090.3
	S	1	7772	127.0	1779.0	1906.0
	NS	6	8017	1265.0	889.7	2154.7
	S/Rta	0	-	-	-	-

No hubo diferencias significativas entre las poblaciones de respuesta para la variable N-NO₃ en suelo a la siembra del cultivo (Cuadro 3). Por el contrario, los contenidos de Ct y Nt fueron levemente inferiores y la concentración de NO₃JBT fue significativamente menor en los ensayos con respuesta a N y NS en comparación a los del grupo sin respuesta. Estos resultados tienden a confirmar que la mineralización de N define el potencial de absorción y por ende, las respuestas al agregado de fertilizante (Di Napoli y col. 1996; Di Napoli y González Montaner. 1997)

Los niveles promedio de S-SO₄ iniciales fueron similares entre los grupos de respuesta, fluctuando entre 19 ppm

y 21 ppm para las poblaciones con respuesta a N y sin respuesta respectivamente. Estos valores son muy superiores a los determinados por otros autores en suelos molisoles del centro y sur de la provincia de Buenos Aires (Mizuno y col. 1990, San Martín y col. 1995). Las limitadas referencias en cuanto a umbrales de este elemento en suelo señalan valores críticos inferiores a las 10 a 12 ppm de S-SO₄ en muestras de suelo superficiales para la mayoría de los cultivos (Ankerman y Lange. 1988, Fox y col. 1964).

Cuadro 3: Parámetros de fertilidad promedios de las distintas poblaciones de respuesta en los sistemas con remoción (CR) y sin remoción (SR).

		Nin	Sin	Ct	Nt	Dap	NO ₃ JBT
Sistema	Grupo de Rta	KgN/ha	ppm	%		Ton/m ³	Mg/l
CR	N	90.5	57.0	1.69	0.151	1.15	3212
	S	100.4	62.7	1.88	0.160	0.99	4048
	NS	117.3	62.9	1.61	0.118	1.10	2290
	S/Rta	94.1	64.7	1.8	0.139	1.10	3940
SR	N	122.9	68.1	1.71	0.142	1.23	2726
	S	118.4	63.6	1.69	0.133	1.30	2200
	NS	58.6	48.2	1.62	0.148	1.30	2070
	S/Rta	-	-	-	-	-	-

Existe una estrecha asociación entre la conversión microbiana del N y S, aunque el N parece ser más sensible a los factores que regulan la intensidad del proceso (Tabatabai y col. 1980, Echeverría y col. 1996), indicando diferencias en la naturaleza del sustrato mineralizable entre estos elementos. La mayor sensibilidad a la mineralización del N orgánico respecto del S sugiere que las respuestas a este último se dan en condiciones más severas de degradación de suelos, sucediendo a las deficiencias de N. Esto parece confirmarse a partir de los menores valores de Ct y Nt registrados en la población con respuesta conjunta a N y S (Cuadro 3).

En el grupo de ensayos con baja remoción del suelo (SR), tanto la magnitud como la frecuencia de casos con respuesta se incrementaron (Cuadro 2). Las respuestas a N ocurrieron en el 33% de los ensayos promediando 1408 kg/ha, el incremento de rendimiento en el grupo de respuesta conjunta a N y S fue de 2155 kg/ha (60 % de los sitios), mientras que se registró un solo ensayo con respuesta exclusiva a S. La restricción en la oferta nutricional causada por el menor disturbio impuesto con estos sistemas de laboreo también es evidente a partir de falta de ensayos sin respuesta. La alta frecuencia de casos con respuesta a NS se corresponde con los menores valores de disponibilidad edáfica inicial para ambos nutrientes; bajos contenidos de Ct y valores de concentración de NO₃JBT (Cuadro 3). Estos últimos, inferiores al umbral de suficiencia nitrogenada establecido para este cultivo (Gonzalez Montaner y col. 1992). A partir de estas observaciones, fue posible elaborar relaciones de respuesta a N+S a partir de la concentración de Ct (Gráfico 1) y del contenido de N-NO₃ a la siembra (Gráfico 2). En ambos casos se observa que el efecto adicional del S por sobre el N aumenta conforme disminuye la fertilidad del sitio. El hecho de que el Nin caracterice mejor que el Sin el comportamiento del cultivo a la fertilización azufrada, tal vez esté relacionado con la falta de calibración de un método analítico adecuado a nuestros suelos y a que, en gran parte, la interacción SN podría explicarse como la respuesta a N en ausencia de S limitante.

Independientemente del sistema de laboreo, las respuestas a S y N son frecuentemente concurrentes (Gráfico 3). Este hecho es consecuencia de que ambos nutrientes se encuentran afectados, aunque con diferente intensidad, por los mismos procesos de transformación en el sistema suelo-planta.

Debido a esto, las respuestas a S pueden ser parcialmente explicadas por un indicador de nutrición nitrogenada, como el caso del Nin en los sitios SR y por la concentración de NO₃ en planta para el conjunto de datos experimentales con excepción de los resultados de un sitio (CA) (Gráfico 4). Las razones por las cuales en CA las respuestas a S son independientes a la de N no son posibles de dilucidar en el presente trabajo.

Conclusiones:

El laboreo del suelo alteró las respuestas a la fertilización. En los sitios con poca remoción, se incrementaron tanto la magnitud como la frecuencia de respuesta a N y S.

El nitrógeno inicial, que no se revela como una variable diagnóstico para las respuestas a N y/o SN en labranzas convencionales se muestra como un interesante diagnosticador en sistemas de baja remoción.

Las respuestas a N y S estuvieron en gran medida asociadas debido a la concurrencia de procesos de transformación de ambos nutrientes. No obstante, existen variables de sitio no identificadas en este estudio que

alteran esa asociación.

A partir de la covariación de respuestas entre N y S, para la mayoría de las situaciones las respuestas a S fueron parcialmente explicadas con la concentración de NO₃ en planta. No obstante, la necesidad de calibrar herramientas específicas para el diagnóstico de estado nutricional azufrado es evidente a partir de la falta de concordancia de respuestas entre N y S para un sitio en particular. Resultados promisorios de un test específico de sulfatos serán próximamente reportados.

Referencias

- Akeman D, Lange R. 1988. Soil and Plant Analysis. A & L Agricultural Laboratories. Memphis (USA) 82p.
- Darwich N. 1990. Fertilizantes: nuevo balance de requerimientos. En: Juicio a nuestra agricultura. INTA. 1-10.
- Andriulo A. 1995. Modélisation de l'évolution des matières organiques des sols de la pampa. Relation avec les systèmes de culture. Dr Thèse, INA-PG 143 p. + annexes.
- Barberis L, Chamorro E, Baumann Fonay C, Zourarakis D, Canova D, Urricariet S. 1985. Respuesta del cultivo de maíz a la fertilización nitrogenada en la Pampa Ondulada. Campañas 1980/81-1983/84. II. Modelos predictivos y explicativos. Rev. Fac. Agr. UBA. 6:64-84.
- Di Napoli M., Maddonni G. 1996. Evolución del contenido de nitrógeno en el sistema suelo planta en híbridos y líneas de maíz. Ciencia del Suelo. (14): 69-73.
- Di Napoli M, Gonzalez Montaner G. 1997. Parámetros del modelo de balance de nitrógeno para el cultivo de maíz en el sur de la provincia de Santa Fe. VI Congreso Nacional de Maíz. Pergamino (III) 166-172.
- Fox R, Olson R, Rhodes H. 1964. Evaluating the sulphur status of soils by plant and soil tests. Proc. Soil Soc. Am. 28: 243-246.
- González Montaner G, Di Napoli M, De Bellis S. 1992. Diagnóstico de fertilidad nitrogenada en maíz bajo riego. V Congreso Nacional de Maíz. Pergamino. (II). 110-117
- Martínez F, Cordone G. 1998. Fertilización azufrada en soja. Jornadas de Azufre. UEEA INTA Casilda, Setiembre 1998. Casilda, Santa Fe, Argentina.
- Michelena R, Irurtia C, Vavruska F, Mon R, Pittaluga A. 1989. Degradación de suelos del Norte de la Región pampeana. Publicación técnica 6. INTA. Centros Regionales de Buenos Aires Norte, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe. Proyecto de Agricultura Conservacionista.
- Mizuno I, de Lafaille B, López Camelo L. 1990. Caracterización del azufre en algunos molisoles de la provincia de Buenos Aires. Ciencia del Suelo. Vol.8 Nro 2. 111-117.
- San Martín N, Echeverría H. 1995. Sulfato en suelos del sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo 13: 95-97.
- Tabatabai M, Al-Khafaji A. 1980. Comparison of nitrogen and sulfur mineralization in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 1000-1006.
- Ventimiglia L, Carta H, Rillo S. 1998. Azufre: Para comenzar a pensar. Agromercado, Nro XXI. Cuadernillo de Trigo.

Agradecimientos: Los autores agradecen la inestimable colaboración de los responsables de los establecimientos: Daniel Boca, Edgardo Alcalá, Ricardo Vibart y al permanente apoyo y sugerencias de Andrés Von Buch.