Fósforo y azufre en el cultivo de maíz

Fernando O. García
INPOFOS/PPI/PPIC Cono Sur
Av. Santa Fe 910 – (1641) Acassuso – Argentina
fgarcia@ppi-ppic.org

El rendimiento de maíz está determinado principalmente por el número final de granos logrados por unidad de superficie, el cual es función de la tasa de crecimiento del cultivo alrededor del período de floración (Andrade et al., 1996). Por lo tanto, para alcanzar altos rendimientos, el maíz debe lograr un óptimo estado fisiológico en floración: cobertura total del suelo y alta eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa. La adecuada disponibilidad de nutrientes, especialmente a partir del momento en que los mismos son requeridos en mayores cantidades (aproximadamente 5-6 hojas desarrolladas), asegura un buen crecimiento foliar y una alta eficiencia de conversión de radiación interceptada.

El diagnóstico de la fertilización del cultivo implica conocer las necesidades nutricionales para alcanzar un rendimiento objetivo y la capacidad del suelo de proveer esos nutrientes en la cantidad y el momento adecuado. Los requerimientos y extracción en grano de los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) para distintos niveles de producción de maíz se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Requerimientos y extracción en grano de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) para distintos rendimientos de maíz.

Rendimiento	Absorción en planta			Extracción en grano		
	N	P	K	N	P	K
kg/ha	----------	kg/ha	----------	----------	kg/ha	----------
6000	132	24	114	87	18	24
9000	198	36	171	131	27	36
12000	264	48	228	174	36	48

El índice de cosecha (extraído/absorbido) de N y P es elevado, del 65-75%, mientras que para K es mucho menor, 20-25%. En términos de fertilizante, con rendimientos de 9000 kg/ha se exportan del sistema el equivalente a 232 kg/ha de urea más 135 kg/ha de fosfato diamónico más 72 kg/ha de cloruro de potasio. Los requerimientos de nutrientes secundarios (azufre, calcio y magnesio) y micronutrientes (cobre, manganeso, zinc, boro, hierro) se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Requerimientos de nutrientes secundarios y micronutrientes del cultivo de maíz para producir una tonelada de grano.

Azufre	Calcio	Magnesio	Cobre	Manganeso	Zinc	Boro	Hierro
----------	kg/ton	----------	----------		g/ton	----------	
4	3	3	13	189	53	20	125

En general, los suelos de la región pampeana argentina presentan deficiencias de N y P. En los últimos años, se han observado deficiencias de azufre (S) y, en algunas zonas, deficiencias de ciertos micronutrientes, como resultado de la intensificación de la agricultura (mayores rendimientos y reducción de períodos bajo pastura). En este artículo se discuten resultados de algunas experiencias de fertilización fosfatada y azufrada en el cultivo de maíz.

Fósforo

La respuesta de los cultivos a la fertilización fosfatada depende del nivel de P disponible en suelo, pero también es afectada por factores del suelo, del cultivo y de manejo del fertilizante. Entre los factores del suelo, se destacan la textura, la temperatura, el contenido de materia orgánica y el pH; mientras que entre los del cultivo deben mencionarse los requerimientos y el nivel de rendimiento.

El diagnóstico de la fertilización fosfatada se basa en el análisis de muestras de suelo del horizonte superficial utilizando un extractante adaptado a los suelos del área en evaluación. En la región pampeana, en general, el extractante utilizado es Bray 1 (Bray y Kurtz, 1945).

La dosis recomendada depende del nivel de P Bray, del rendimiento esperado, de la relación de precios grano/fertilizante y del criterio de recomendación del laboratorio y/o asesor. Respecto a este último aspecto, debe tenerse en cuenta que existen dos criterios de recomendación: el de suficiencia y el de reconstrucción y mantenimiento. El criterio de suficiencia pretende satisfacer los requerimientos del cultivo a implantar mientras que el de reconstrucción y mantenimiento también incluye aportes para mejorar el nivel de P disponible en el suelo.

Investigaciones conducidas durante la década del 80 encontraron relaciones significativas entre el nivel de P disponible a la siembra y la respuesta a la fertilización fosfatada en maíz. Senigagliesi *et al.* (1984) y Darwich (1984) determinaron umbrales críticos de P Bray 1 de 10 ppm y 12 ppm, respectivamente, por debajo de los cuales las respuestas a la fertilización eran significativas. Las respuestas obtenidas fueron de hasta 2000 kg/ha para lotes con baja disponibilidad de P con aplicaciones de 100-120 kg/ha de fosfato diamónico. Estas respuestas se reducían a 500-600 kg/ha si ocurrían déficits hídricos en el período crítico pre-floración a floración.

Los cambios producidos en la tecnología del cultivo en los últimos años en cuanto a manejo del suelo, híbridos, fechas de siembra, densidad y manejo del agua, requieren de la actualización de los métodos de diagnóstico. Durante las campañas 1994/95, 1995/96 y 1996/97, se llevaron a cabo 11 ensayos de fertilización fosfatada en la región serrana del sudeste de la Provincia de Buenos Aires: siete bajo secano y cuatro con riego suplementario. A pesar de la variabilidad en disponibilidad de agua entre las tres campañas, las respuestas se asociaron con el P disponible en pre-siembra (García *et al.*, 1997). La Fig. 1 muestra los rendimientos promedio para los ensayos agrupados de acuerdo al nivel de P disponible para los tratamientos testigo, con P (100-120 kg/ha de fosfato diamónico, FDA, o superfosfato triple, SFT), con N (200 kg/ha de urea) y con N y P (100-120 kg/ha de FDA más 200 kg/ha de urea). En los 8 ensayos con menos de 15 ppm de P disponible (P disponible promedio = 8 ppm), se observaron respuestas promedio de 790 kg/ha con respuestas significativas en 7 de los 8 ensayos. El grupo de tres ensayos con mas de 15 ppm de P disponible (P disponible promedio = 30 ppm), mostró respuestas significativas en sólo uno de ellos.

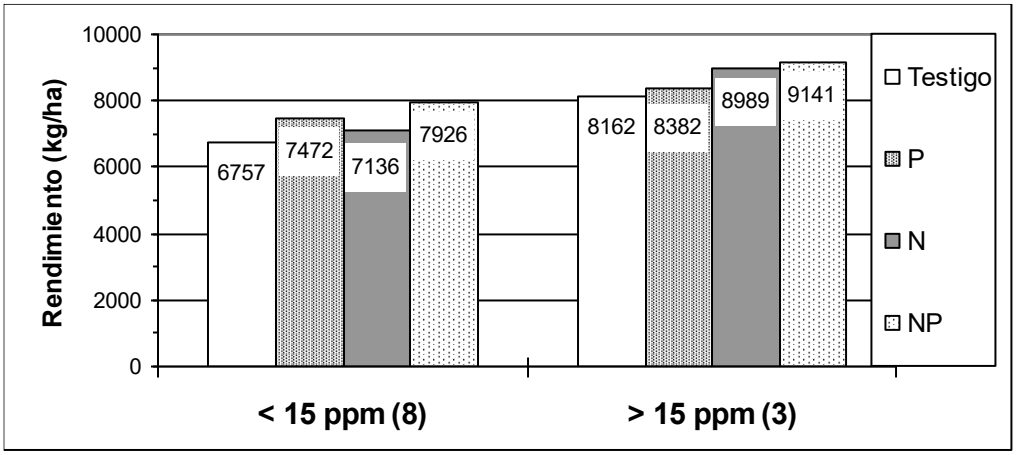

Fig. 1. Rendimientos promedio de maíz en ocho ensayos con menos de 15 ppm de P disponible y en tres ensayos con más de 15 ppm de P disponible. Unidad Integrada EEA INTA - Facultad Ciencias Agrarias, Balcarce, 1994-96 (García *et al.*, 1997).

En general, en suelos con niveles de P disponible menores de 15 ppm, fertilizaciones de 90-100 kg/ha de SFT o FDA resultan en respuestas promedio de 800 kg/ha. En cultivos bajo riego se han observado respuestas significativas con niveles de P disponible de hasta 18-20 ppm. La Tabla 3 muestra la recomendación de fertilización fosfatada para los suelos del área de acuerdo al nivel de P Bray y rendimiento esperado (Echeverría y García, 1998). Estas recomendaciones incluyen, en forma parcial, el criterio de reconstrucción para los niveles muy bajos de P disponible, y de mantenimiento para niveles de P disponible superiores a los 16 mg/kg.

En el norte de Buenos Aires, Melgar y Caamaño (1997) evaluaron la respuesta a la fertilización fosfatada en cinco sitios con niveles medios a altos de P disponible, encontrando respuestas significativas al agregado de P en tres sitios. Las respuestas promedio a la aplicación de 30 kg/ha de P_2O_5 fueron de 850 y 1820 kg/ha para los tratamientos sin N y con 120 kg/ha de N, respectivamente. Con el agregado de 60 kg/ha de P_2O_5, las respuestas promedio fueron de 1650 y 1970 kg/ha para 0 y 120 kg/ha de N, respectivamente. Estos resultados demuestran un aspecto

importante a tener en cuenta al decidir la fertilización del cultivo que es la de considerar todos los nutrientes limitantes para el rendimiento.

Tabla 3. Recomendaciones de fertilización fosfatada para maíz según nivel de P Bray y rendimiento esperado (Echeverría y Garcia, 1998).

Rendimiento	Concentración de P disponible en el suelo (mg/kg)						
	Menos 5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-16	16-20
Ton/ha				kg P_2O_5/ha			
5	59	48	43	39	35	30	
6	65	54	50	45	41	37	26
7	71	60	56	51	47	43	32
8	77	66	62	57	53	49	38
9	83	72	68	63	59	55	44
10	89	78	74	70	65	61	50
11	95	84	80	76	71	67	56
12	101	90	86	82	77	73	62
13	107	97	92	88	83	79	68
14	114	103	98	94	90	85	74

La aplicación de los fertilizantes fosfatados debe hacerse a la siembra o antes de la siembra de manera tal que el P esté disponible para el cultivo desde la implantación. La reducida movilidad del ión ortofosfato y la retención (fijación, adsorción e inmovilización) del fertilizante fosfatado en el suelo requiere de la aplicación localizada del mismo, especialmente en suelos de bajo contenido de P disponible y en siembras tempranas (Randall y Hoeft, 1988). En ensayos realizados en cultivos de maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense durante la campaña 1997/98, la aplicación en bandas superó a la aplicación al voleo en suelos con bajo nivel de P disponible (Tabla 4); mientras que con niveles de P disponible medios (P Bray=15-16 ppm) no se observaron diferencias entre las formas de aplicación.

Tabla 4. Rendimientos de maíz según dosis y método de fertilización fosfatada. En todos los tratamientos se aplicaron 120 kg/ha de N. Ensayo El Tabaré, Necochea, P Bray 8.6 ppm. Campaña 1997/98 (F. García y col., com. pers.).

Dosis de P_2O_5	Método de aplicación	Rendimiento
kg/ha		kg/ha
0		8482 bc#
25	Voleo	7973 c
50	Voleo	9807 ab
100	Voleo	9626 ab
25	Línea	10364 a
70	Línea	10788 a
LSD (5%)		1358

 # Rendimientos seguidos por la misma letra no difieren significativamente al nivel del 5% de probabilidad.

Azufre

En los últimos años se han observado respuestas a la fertilización azufrada en numerosos cultivos (maíz, soja, trigo, canola, alfalfa, pasturas) en la región pampeana, principalmente en el oeste de Buenos Aires-este de La Pampa y en la zona centro-sur de Santa Fe y norte de Buenos Aires. En la zona Oeste, las respuestas a S se relacionan con el bajo nivel de materia orgánica del suelo (<2-2.5%) y disponibilidad de S, y los altos rendimientos que se han obtenido en los últimos años (Díaz Zorita, 1998; Ventimiglia et al.,1998). En la zona Norte, las respuestas se observan en

suelos degradados, con muchos años de agricultura continua (especialmente soja), y con cultivos de alta producción con fertilización nitrogenada y fosfatada (Martínez y Cordone, 1998).

En el Centro-Sur de Santa Fe y Sudeste de Córdoba, Martínez y Cordone (1999) encontraron respuestas significativas y económicas a la fertilización azufrada de maíz en seis de un total de siete ensayos exploratorios realizados en ambientes considerados de buena productividad (Fig. 2). El resultado neto económico (ingreso adicional menos costo adicional) de la fertilización azufrada varió entre 17 y 177 $/ha para los seis sitios con respuesta.

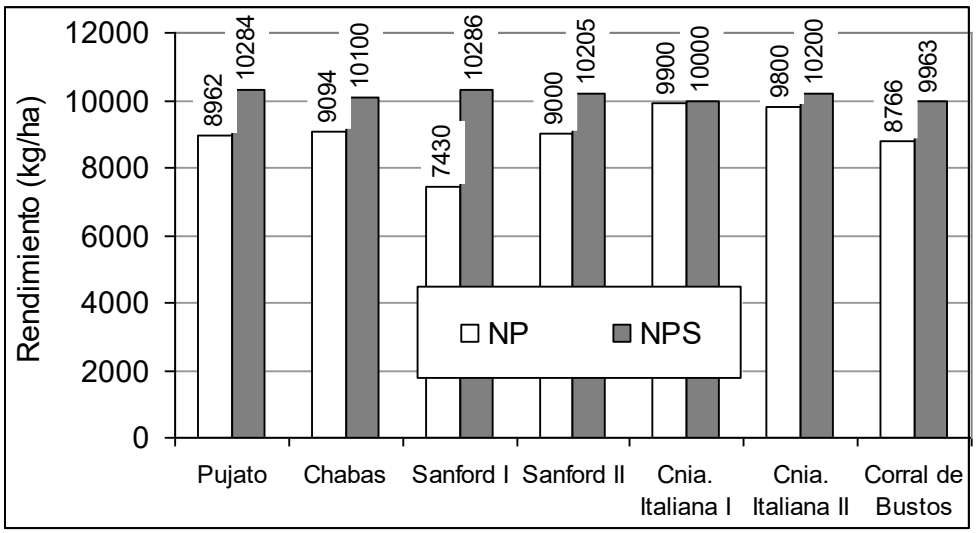

Fig. 2. Rendimiento de maíz con aplicaciones de nitrógeno y fósforo y de nitrógeno, fósforo y azufre en siete ensayos exploratorios del Centro-sur de Santa Fe y Sudeste de Córdoba. Fuente: UEEA INTA Casilda - Martínez y Cordone (1999).

La Fig. 3 muestra los resultados de dos ensayos realizados durante la campaña 1998/99 en el Sur de Santa Fe (Teodelina y María Teresa, Depto. Gral. López) sobre suelos Hapludoles (Juan y Agustín Avellaneda y col., com. pers.). Las respuestas a la fertilización azufrada fueron significativas en el ensayo de San Marcelo (Teodelina), 826 kg/ha, pero no en Betania (Maria Teresa), 248 kg/ha, a pesar de observarse niveles bajos de disponibilidad de S-sulfatos a la siembra en ambos sitios. Las diferencias en las respuestas podrían atribuirse a las diferentes historias agrícolas de los lotes (años de agricultura, rendimientos de cultivos previos).

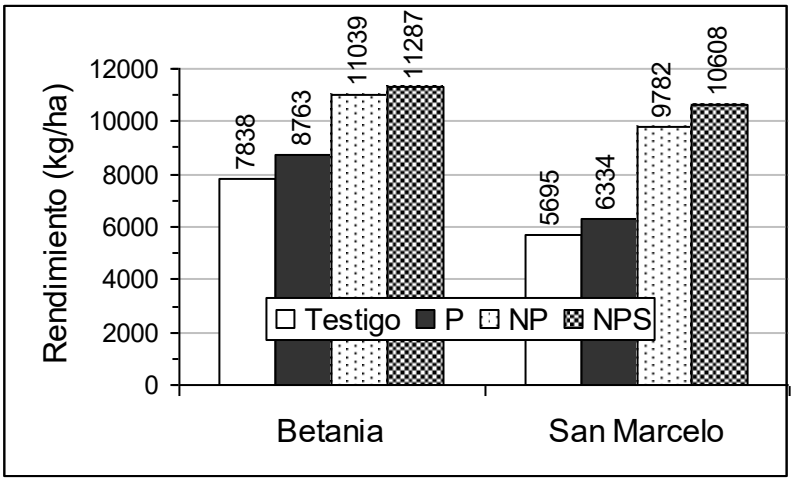

Fig. 3. Rendimiento de maíz con distintos tratamientos de fertilización en dos ensayos realizados en 1998/99 en María Teresa (Betania) y Teodelina (San Marcelo), Prov. de Santa Fe. La disponibilidad de S-sulfatos a la siembra era de 27-28 kg/ha a 0-40 cm de profundidad en ambos sitios (Juan y Agustín Avellaneda y col., com. pers.).

La obtención de máximos rendimientos económicos en cultivos de maíz depende de la adecuada nutrición del cultivo. Los resultados presentados indican que tanto fósforo como azufre deben ser tenidos en cuenta al evaluar las necesidades de fertilización del cultivo. Para el caso de fósforo, las investigaciones realizadas permiten diagnosticar la fertilización utilizando el análisis de suelo y el rendimiento esperado. Investigaciones en curso permitirán establecer sistemas de diagnóstico y pautas de manejo (dosis, fuentes, momentos y métodos de aplicación) para la fertilización azufrada.

Referencias

Andrade F., A. Cirilo, S. Uhart y M. Otegui. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa-Dekalb Press.

Bray R. y L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59:39-45.

Darwich N. 1984. Tecnología disponible para el cultivo de maíz en la zona sudeste de la Provincia de Buenos Aires. EEA INTA Balcarce.

Díaz Zorita M. 1998. Azufre: Balanceando la formula con otros nutrientes. Fertilizar, No. Esp. Pasturas, pp. 16-17.

Echeverría H. y F. Garcia. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 149. EEA INTA Balcarce.

García F., K. Fabrizzi, M. Ruffo y P. Scarabicchi. 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

Martínez F. y G. Cordone. 1998. Fertilización azufrada en soja. Jornadas de Azufre. UEEA INTA Casilda, Septiembre 1998. Casilda, Santa Fe, Argentina

Martínez F. y G. Cordone. 1999. Respuesta del maíz a la fertilización azufrada en franjas exploratorias. Evaluación de la producción física y de la viabilidad económica. Revista “Para mejorar la producción”, No. 10. Maíz. EEA INTA Oliveros, Santa Fe, Argentina

Melgar R. y A. Caamaño. 1997. Fertilización nitrogenada, fosfatada y azufrada. Revista Agromercado. Cuadernillo de Maíz. Año II No. 12. p. 14-15.

Randall G. y R. Hoeft. 1988. Placement methods for improved efficiency of P and K fertilizers: A review. J. Prod. Agric. 1:70-79.

Senigagliesi C., R. García y M.L. de Galetto. 1984. Evaluación de la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada y fosfatada en el área centro-norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe. III Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino.

Ventimiglia L., H. Carta y S. Rillo. 1998. Azufre: Para comenzar a pensar. Agromercado, No. XXI. Cuadernillo de Trigo.