

Fertilización de Maíz en la Región Pampeana

Fernando O. García
 INPOFOS/PPI/PPIC Cono Sur
 Av. Santa Fe 910 – (B1641ABO) Acassuso – Argentina
 e-mail 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 nutrientes 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 objetivo de este trabajo es discutir aspectos relacionados con la nutrición del cultivo a partir del diagnóstico de las necesidades y del manejo de la fertilización.

1. Requerimientos nutricionales del cultivo

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 nutricionales de maíz se indican en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Requerimientos y extracción en grano de nutrientes para producir una tonelada de grano de maíz.

Nutriente	Requerimiento <i>kg/ton</i>	Índice Cosecha	Extracción en grano <i>kg/ton</i>
Nitrógeno	22	0.66	14.5
Fósforo	4	0.75	3.0
Potasio	19	0.21	4.0
Calcio	3	0.07	0.2
Magnesio	3	0.28	0.8
Azufre	4	0.45	1.8
Boro	0.020	0.25	0.005
Cloro	0.444	0.06	0.027
Cobre	0.013	0.29	0.004
Hierro	0.125	0.36	0.045
Manganeso	0.189	0.17	0.032
Molibdeno	0.001	0.63	0.001
Zinc	0.053	0.50	0.027

Tabla 2. Requerimientos y extracción en grano de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) para distintos rendimientos de maíz.

Rendimiento	Absorción en planta			Extracción en grano		
	N	P	S	N	P	S
kg/ha	kg/ha			kg/ha		
9000	198	36	36	131	27	16
12000	264	48	48	174	36	22
15000	330	60	60	218	45	27

En general, los suelos de la Región Pampeana presentan deficiencias de N y P, y en los últimos años se han observado deficiencias de azufre (S), como resultado de la intensificación de la agricultura (mayores rendimientos y reducción de períodos bajo pastura).

El análisis de suelo es la herramienta básica y fundamental para determinar los niveles de fertilidad de cada lote y diagnosticar la necesidad de fertilización. Es importante conocer las características climáticas de la zona, del suelo y su manejo y del manejo del cultivo para definir el plan de fertilización. Para nutrientes específicos y en distintos estados fenológicos del cultivo, los análisis vegetales son herramientas de gran utilidad en el diagnóstico de la fertilización.

2. Nitrógeno

En general, los métodos de diagnóstico para la fertilización nitrogenada pretenden predecir la probabilidad de respuesta a partir de la disponibilidad de N en suelo y/o en planta y el requerimiento previsto para un determinado nivel de rendimiento. Los métodos desarrollados para el cultivo de maíz incluyen el análisis de suelo en pre-siembra y al estado de 5-6 hojas de desarrollo del cultivo, y el análisis de planta en estadios tempranos y avanzados de desarrollo:

1. *Disponibilidad de $N-NO_3^-$ en pre-siembra.* Se utiliza en modelos predictivos en algunas zonas de EE.UU. y de la Región Pampeana (Senigaglia *et al.*, 1984; Barberis *et al.*, 1985; Gambaudo y Fontanetto, 1996). Trabajos realizados en el norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe por los grupos CREA estiman niveles críticos de 150 kg/ha de N-nitratos a 0-60 cm de profundidad (Emilio Satorre, comunicación personal).
2. *Análisis de $N-NO_3^-$ a 0-30 cm de profundidad al estado de 5-6 hojas desarrolladas (pre-escardillo).* Melchiori *et al.* (1996) encontraron niveles críticos de 17.4 ppm de $N-NO_3^-$ en pre-escardillada a la profundidad de 0-40 cm para suelos de Entre Ríos. Ferrarri *et al.* (2000) reportaron niveles críticos de 18-20 ppm para el norte de Buenos Aires. En el sudeste bonaerense, los resultados obtenidos muestran que, en general, se pueden esperar respuestas a la aplicación de N si el nivel de $N-NO_3^-$ es menor de 15-25 ppm, siendo el límite inferior para cultivos en secano y el superior para cultivos bajo riego y en siembra directa (Fig. 1) (Sainz Rozas *et al.*, 1996; García *et al.*, 1997).

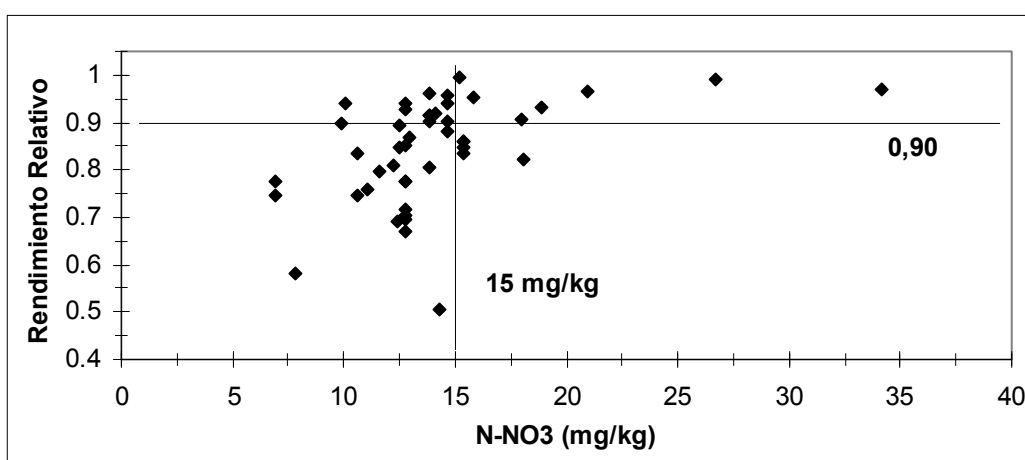


Fig. 1. Rendimiento relativo de maíz en función del nivel de $N-NO_3$ a 0-30 cm de profundidad al estado de 5-6 hojas (NPE). Ensayos Unidad Integrada EEA INTA-FCA Balcarce 1993-1996 (n=42). La línea vertical indica $N-NO_3 = 15$ mg/kg y la horizontal Rendimiento Relativo = 0,90 (García *et al.*, 1997).

3. *Concentración de $N-NO_3^-$ en savia.* La concentración de nitratos en savia o "jugo" de base de tallos al estado de 4-6 hojas se ha correlacionado significativamente con el rendimiento, aunque los niveles críticos reportados por debajo de los cuales se observa respuesta a la fertilización nitrogenada variaron de 900 a 4500 mg/L (González Montaner y Di Napoli, 1997; Herfurt *et al.*, 1997).
4. *Medición del índice de verdor de las hojas utilizando el medidor del índice de verdor Minolta SPAD 502.* En determinaciones realizadas en el sudeste de Buenos Aires, Sainz Rozas y Echeverría (1998) encontraron que la sensibilidad de las mediciones no es lo

suficientemente elevada al estado 5-6 hojas desarrolladas para diferenciar niveles contrastantes de disponibilidad de N. En estados más avanzados del ciclo (15 días pre-floración, floración y 15 días post-floración), los valores del índice de suficiencia de N oscilaron entre 0.97-0.98 para lograr el 95% del rendimiento máximo del cultivo.

5. *Análisis de $N-NO_3^-$ en la base de tallos a madurez fisiológica.* Se basa en la tendencia de acumulación de NO_3^- en la base de los tallos al final de la estación de crecimiento, cuando el abastecimiento de N es suficiente. En Balcarce, Herfurt *et al.* (1997) reportaron un valor de 400 ppm para el umbral de suficiencia al estado R6, próximo al rango reportado por autores norteamericanos.

La demanda de N del cultivo de maíz aumenta marcadamente a partir del estado de 5-6 hojas desarrolladas (30-50 días después de la emergencia). Por esta razón, la aplicación en este estado del cultivo o inmediatamente previa ha sido reportada como la de mayor eficiencia de uso de N. La Fig. 2 muestra los rendimientos obtenidos en un cultivo de maíz bajo SD con tres dosis de N aplicadas como urea a la siembra, al estado de 5 hojas desarrolladas o dividida (mitad a la siembra y mitad al estado de 5 hojas). La dosis de 50 kg/ha de N mostró una mayor eficiencia con la aplicación al estado de 5 hojas que con la aplicación a la siembra o dividida. Dosis mayores muestran respuestas decrecientes y resultan en eficiencias similares para los distintos momentos de aplicación.

Las ventajas operacionales pueden justificar las aplicaciones tempranas (pre-siembra o a la siembra) en muchos casos, ya que las diferencias no siempre son de la magnitud de las observadas en la Fig. 2. La eficiencia de estas aplicaciones tempranas depende de 1) la cantidad y frecuencia de precipitaciones entre la aplicación y la absorción de N del cultivo que pueden originar pérdidas por lavado y/o desnitrificación y 2) la inmovilización microbiana que depende principalmente de la cantidad de residuos.

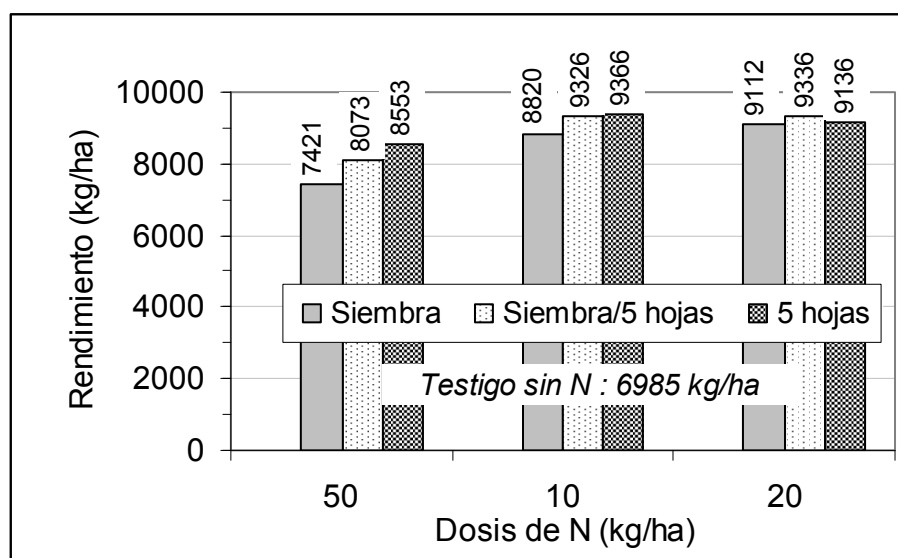


Fig. 2. Rendimientos de maíz con distintas dosis de N aplicadas como urea en tres momentos: Siembra, 5 hojas desarrolladas o Dividida (mitad siembra y mitad 5 hojas). Ensayo Puerta del Abra 1997/98, Balcarce, Buenos Aires, Argentina (F. García y col., com. pers.).

La eficiencia de uso de N de distintas fuentes nitrogenadas es similar cuando los fertilizantes son incorporados. Aplicaciones superficiales de N pueden resultar en pérdidas por volatilización cuando se utiliza urea o fuentes que contengan urea. Bajo SD, las pérdidas por volatilización son mayores que bajo labranza convencional debido principalmente a la mayor actividad ureásica de los residuos. La inmovilización/intercepción del N por el residuo representa una pérdida de N común a todos los fertilizantes nitrogenados con aplicaciones superficiales. La Fig. 3 muestra los rendimientos de maíz obtenidos con aplicaciones de urea, nitrato de amonio calcáreo (CAN) y UAN al voleo y superficiales a dos dosis equivalentes de N en un ensayo realizado en INTA Rafaela (Fontanetto, 1999). Las tres fuentes de N presentaron similares eficiencias de uso al ser incorporadas, y fueron superiores a las aplicaciones superficiales. Las aplicaciones superficiales

muestran un mejor comportamiento para el CAN al voleo y el UAN chorreado que para la urea al voleo, posiblemente debido a mayores pérdidas por volatilización. La aplicación chorreada del fertilizante líquido reduce la superficie de contacto entre el fertilizante y el residuo disminuyendo la tasa de hidrólisis y, por lo tanto, la volatilización.

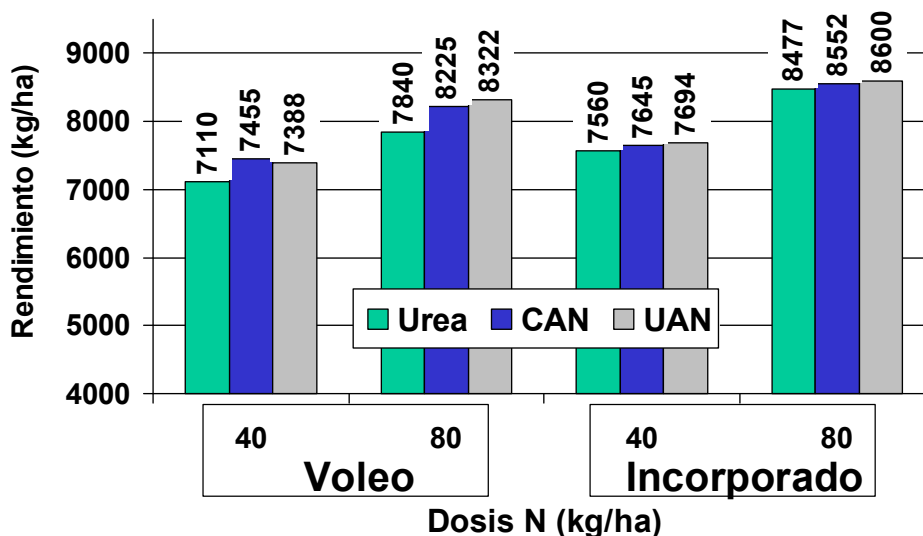


Fig. 3. Rendimientos de maíz con 40 y 80 kg/ha de N aplicados a la siembra como urea, CAN y UAN en superficie o incorporados. Las aplicaciones superficiales de urea y CAN se hicieron al voleo en cobertura total mientras que el UAN se aplicó chorreado. El rendimiento del cultivo sin fertilizar fue de 6720 kg/ha. EEA INTA Rafaela, Santa Fe, Argentina (Fontanetto, 1999).

3. 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.

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.

En ensayos de fertilización fosfatada realizados en la región serrana del sudeste de la Provincia de Buenos Aires durante las campañas 1994/95, 1995/96 y 1996/97, se observaron respuestas promedio de 790 kg/ha con respuestas significativas en 7 de los 8 sitios con menos de 15 ppm de P disponible (P disponible promedio = 8 ppm). El grupo de tres ensayos con más de 15 ppm de P disponible (P disponible promedio = 30 ppm), mostró respuestas significativas en sólo uno de ellos (Fig. 4).

La Tabla 3 muestra la recomendación de fertilización fosfatada para los suelos del sudeste bonaerense 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.

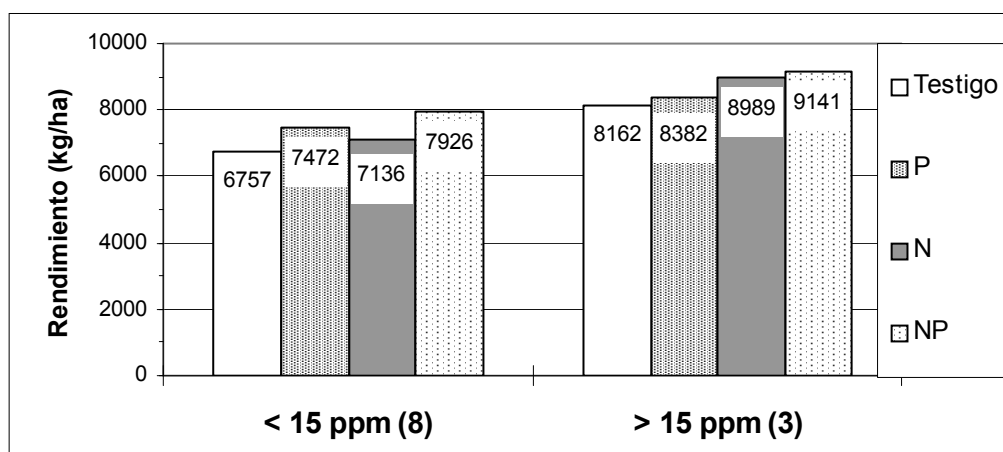


Fig. 4. Rendimientos promedio de maíz en ocho ensayos con menos de 15 ppm de P disponible y en tres ensayos con más de 15 ppm de P disponible. Unidad Integrada EEA INTA - Facultad Ciencias Agrarias, Balcarce, 1994-96 (García *et al.*, 1997).

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 requieren de la aplicación localizada del mismo, especialmente en suelos de bajo contenido de P disponible y en siembras tempranas. Sin embargo, en los últimos años, en ensayos realizados bajo siembra directa se han encontrado eficiencias de uso del P aplicado similares para aplicaciones al voleo anticipadas y aplicaciones en bandas a la siembra (Mallarino, 1998). En ensayos realizados en cultivos de maíz bajo SD 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; mientras que con niveles de P disponible medios no se observaron diferencias entre las formas de aplicación. Barbagelata y Papparotti (2000) encontraron respuestas similares con aplicaciones al voleo anticipadas y en la línea de siembra en un suelo de Entre Ríos con 13 ppm P Bray. Futuras investigaciones deben abordar la evaluación de las aplicaciones al voleo anticipadas y los mecanismos que expliquen la dinámica del P aplicado en estas condiciones. Entre las fuentes de P, los fosfatos diamónico y monoamónico tienen la ventaja sobre el superfosfato triple de presentar N en su composición, lo que mejoraría el efecto de arranque del fertilizante a partir de los efectos benéficos de la interacción amonio-fosfato.

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

Rendimiento Ton/ha	Concentración de P disponible en el suelo (mg/kg)						
	Menos 5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-16	16-20
	kg P ₂ O 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

4. 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).

La Fig. 5 muestra los resultados de dos ensayos realizados durante la campaña 1998/99 en el Sur de Santa Fe (Teodelina y María Teresa) (J. y A. Avellaneda y col., com. pers.). Los aumentos en producción de grano debidos a la fertilización azufrada fueron significativos en el ensayo de San Marcelo (Teodelina), 826 kg/ha, pero no en Betania (María 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).

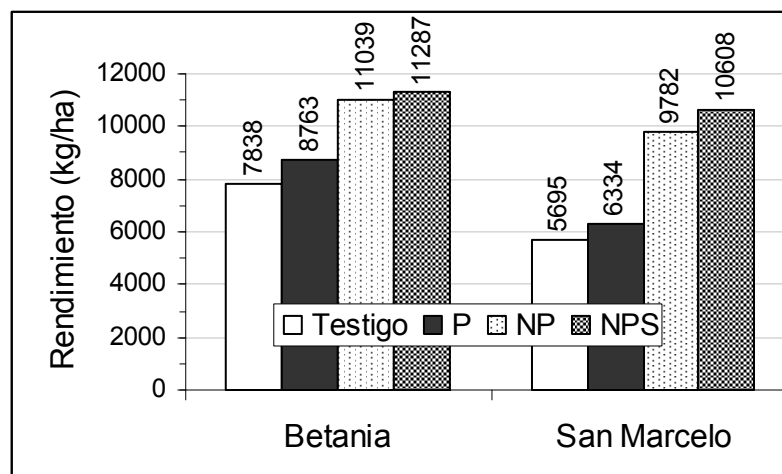


Fig. 5. Rendimiento de maíz con distintos tratamientos de fertilización en dos ensayos realizados en 1998/99 en María Teresa (Betania) y San Marcelo (Teodelina), Santa Fe. La disponibilidad de S-sulfatos a la siembra era de 27-28 kg/ha a 0-40 cm de profundidad en ambos sitios (J. y A. Avellaneda y col., com. pers.).

Debe tenerse en cuenta que las respuestas a la fertilización azufrada se observan y son más importantes cuando se cubren las deficiencias de los otros nutrientes, principalmente N y P (Fig. 6). Investigaciones en curso permitirán establecer sistemas de diagnóstico y pautas de manejo (dosis, fuentes, momentos y métodos de aplicación) para la fertilización azufrada.

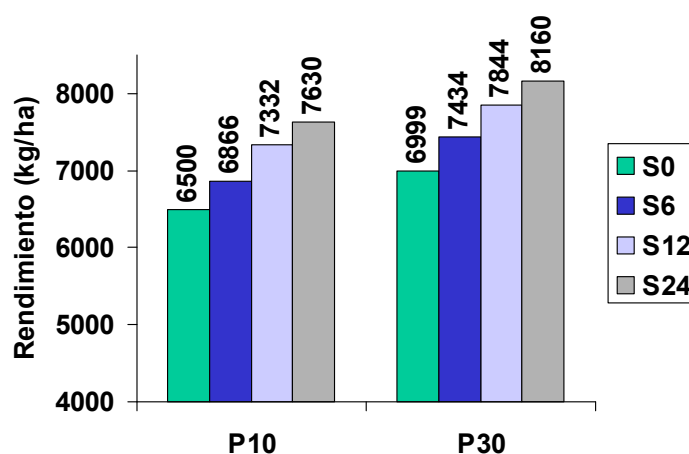


Fig. 6. Rendimiento de maíz con distintos tratamientos de fertilización fosfatada y azufrada. Todos los tratamientos recibieron 90 kg/ha de N. Análisis de suelo a la siembra: 9.4 ppm P Bray, 7 ppm S-sulfatos, MO 3%. P aplicado como superfosfato triple y S como sulfato de amonio. San Carlos, Santa Fe, 1998-99 (Fontanetto et al., 1999).

5. Otros nutrientes

Los suelos de la Región Pampeana se consideran bien provistos de K. La continua extracción del nutriente y la falta de reposición resultará en la disminución de K disponible, especialmente en los lotes con mayor frecuencia de soja, cultivo que presenta un alto índice de cosecha de K (cercano al 60% del K absorbido). Es así, que en algunos suelos de la zona sudeste de la Provincia de Córdoba, con alta frecuencia de soja en la rotación, el nivel de K intercambiable ha disminuido a valores de 200-250 mg/kg.

La disponibilidad original de calcio (Ca) y magnesio (Mg) de los suelos pampeanos es elevada. La intensificación de la agricultura ha resultado en la disminución de los niveles de bases y pH en algunos suelos, especialmente en el Norte de la región, con respuestas significativas a la aplicación de enmiendas calcáreas y/o dolomíticas en alfalfa y soja. Los altos niveles de K en el complejo de intercambio podrían resultar en deficiencias inducidas de Mg según lo sugiere la bibliografía internacional.

La disponibilidad de micronutrientes en suelos pampeanos ha sido considerada adecuada en general (Sillanpaa, 1982), sin embargo, en los últimos años se han observado respuestas y deficiencias en algunas situaciones. Se han determinado bajos niveles de boro, zinc (Zn) y cobre en suelos y plantas de maíz y trigo. En la zona de Río Cuarto (Córdoba) se han reportado respuestas significativas a la aplicación de Zn en maíz (Juan G. Tellería, com. pers.).

La evaluación de sistemas de fertilización balanceada que incluyan nutrientes "no convencionales" como S, Mg y micronutrientes constituye una de las prioridades de investigación en la región pampeana.

Referencias

- Andrade F., A. Cirilo, S. Uhart y M. Otegui. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Editorial La Barrosa-Dekalb Press.
- Barbagelata P. y O. Paparotti. 2000. Estrategias de fertilización fosforada del maíz en siembra directa. Jornadas de Intercambio Técnico de Maíz. AAPRESID. Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Barberis L., E. Chamorro, C. Baumann Fonay, D. Zourarakis, D. Canova y S. Urricariet. 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. Agronomía* 6:65-84.
- Díaz Zorita M. 1998. Azufre: Balanceando la fórmula con otros nutrientes. *Fertilizar*, No. Esp. Pasturas, pp. 16-17.
- Echeverría H. y F. García. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. *Boletín Técnico* No. 149. EEA INTA Balcarce.
- Ferrari M. 2000. Fertilización de maíz: Buscando una mayor eficiencia en el manejo del nitrógeno y el fósforo. Actas Jornadas de Actualización Técnica para Profesionales Fertilidad 2000. INPOFOS. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Fontanetto H. 1999. Maíz en la región central de Santa Fe. Actas "Seminario Diagnóstico de deficiencias de nitrógeno, fósforo y azufre en cultivos de la región pampeana". EEA INTA Balcarce. Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Fontanetto H., O. Keller, R. Inwinkelried y N. Citroni. 1999. Efecto del fósforo y el azufre en maíz. Jornadas de Intercambio Técnico de Maíz. AAPRESID. Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Gambaudo S. y H. Fontanetto. 1996. Fertilización. En *Maíz. Información para Extensión*. EEA INTA Rafaela. Santa Fe.
- 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.
- González Montaner J., y M. Di Napoli. 1997. Respuestas a nitrógeno del cultivo de maíz en el sur de la provincia de Santa Fe. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- Herfurt E., H. Echeverría, S. Uhart y H. Sainz Rozas. 1997. Determinación de nitratos en la base del tallo como elemento diagnóstico de la nutrición nitrogenada en maíz. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- Mallarino A. 1998. Métodos de fertilización con fósforo y potasio para maíz y soja en siembra directa: Recientes avances en el cinturón del maíz. Actas 6°. Congreso Nacional de AAPRESID. Mar del Plata, 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.
- Melchiori R., O. Paparotti y W. Paul. 1996. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada de maíz: Nitratos en preescardillada. Serie de Extensión No. 11. EEA INTA Paraná. Entre Ríos.
- Sainz Rozas H. y H. Echeverría. 1998. Uso del medidor de clorofila para el monitoreo de la nutrición nitrogenada del cultivo de maíz. *Rev. Fac. Agron. La Plata* (En prensa).

- Sainz Rozas H., H. Echeverría y G. Studdert. 1996. Diagnóstico de las necesidades de nitrógeno del cultivo de maíz mediante análisis de suelo en el sudeste bonaerense. *Visión Rural* 20:57-58..
- Senigaglia 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.
- Sillanpaa M. 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils: A global study. *FAO Soils Bull.* 48. FAO, Organización de Naciones Unidas, Roma, Italia.
- Ventimiglia L., H. Carta y S. Rillo. 1998. Azufre: Para comenzar a pensar. *Agromercado*, No. XXI. Cuadernillo de Trigo.