

Modulo de Investigación - Ensayo EEA INTA Balcarce – Campaña 2005-06

MODULO DE INVESTIGACIÓN - PROYECTO FERTILIZAR

Ensayo Base EEA INTA Balcarce – Campaña 2005-06

Se realizó un experimento con el objetivo de evaluar los efectos directos de la fertilización con N, P, S, micronutrientes y del encalado sobre algunas variables edáficas y el rendimiento del cultivo de maíz bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD) (Experimento 1).

En un sitio aledaño se realizó otro experimento bajo SD con el objetivo de evaluar los efectos directos y residuales de la fertilización con P y S en distintos niveles de fertilización nitrogenada sobre algunas variables edáficas y el rendimiento del maíz (Experimento 2).

Sitios experimentales:

Complejo de Paleudol Petrocálcico y Argiudol Típico (Serie Mar del Plata) ubicado en la EEA INTA Balcarce.

METODOLOGÍA

En ambos experimentos la secuencia de cultivos fue la misma. En el Experimento I los tratamientos resultaron de una combinación factorial de combinaciones de nutrientes y sistemas de labranza (SD y LC) en un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Las dosis de cada nutriente es detallada en la Tabla 1. En el Experimento II los tratamientos resultaron de una combinación factorial de niveles de N, dosis de P y de azufre mas un control con N y sin P, en un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones con 4 repeticiones. Las dosis de nutrientes se detallan en la Tabla 2. Las parcelas fueron de 7 surcos de ancho (4.9 m) por 12.5 m de largo.

En el Experimento I el barbecho en SD comenzó con una aplicación de 4, 0.5 y 0.1 l/ha de Randaup, 2,4-D y Dicamba, respectivamente el 24/06/2005, mientras que en la misma fecha se realizó una arada y disqueada en LC. En LC se realizaron dos pasadas de vibrocultivador (22-09-05 y 13/10/2005) para control de malezas y preparación de cama de siembra. Bajo SD se realizó una aplicación durante el barbecho de 4 y 0.1 l/ha de Randaup y Dicamba, respectivamente, el 29-09-05. Para ambos sistemas de labranza se realizó una aplicación en pre-emergencia el 14-10-05 de 4, 2 y 0.07 l/ha de atrazina, metolaclor y karate, respectivamente. Se sembró el híbrido DK 682 resistente a glifosato el 14/10/2005 en líneas separadas a 70 cm, con una densidad inicial de 84.000 semillas/ha. Al estadio de 2-3 hojas se raleó a una densidad de 75.000 plantas ha⁻¹. La fecha de emergencia fue el 22 y el 25/10/2005 para LC y SD, respectivamente.

En ambos experimentos, todos los fertilizantes y la cal fueron aplicados al voleo en cobertura un día después de la siembra. Como fuente de P se usó superfosfato triple de Ca y SO₄Ca como fuente de S. En el Experimento 2 el P solo se aplicó en los tratamientos de fertilización anual. En ambos experimentos y previo a la siembra se realizó un muestreo de suelo hasta los 60 cm de profundidad en cada unidad experimental. En los primeros 20 cm se realizaron determinaciones de materia orgánica (MO), P disponible (Bray y Kurtz, 1945), pH, N-NO₃⁻ (Keeney y Nelson, 1966) y S-SO₄⁻ por extracción con PO₄HCa y posterior cuantificación por turbidimetría. En los 20-40 y 40-60 se realizaron determinaciones de S-SO₄⁻ y de N-NO₃⁻.

El rendimiento en grano se determinó recolectando las espigas presentes en 5 m de los tres surcos centrales, desgranándolas luego con una trilladora estacionaria. Los granos fueron pesados y su

humedad fue determinada con un humedímetro A79 de Tesma SAIC. El rendimiento se expresó al 14% de humedad. Se realizó el análisis de la varianza sobre las variables edáficas y sobre el rendimiento del cultivo. La comparación de medias se realizó mediante el test de Tukey al 5% de probabilidad.

Tabla 1. Tratamientos evaluados bajo SD y LC en el cultivo de maíz en secano en la campaña 2005-06 (Experimento 1).

Nutrientes	Tratamientos						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
N		126	126		126	126	126
P		20		20	20	20	20
S			10	10	10	10	10
Zn						0,5	0,5
Cu						0,5	0,5
Cal							400

Dosis de nutrientes en kg ha⁻¹ de elemento, salvo la cal que se expresa los kg ha⁻¹ de CO₃Ca.

Tabla 2. Secuencia de cultivos y tratamientos evaluados en el cultivo de maíz en secano en la campaña 2005-06 (Experimento 2).

Identificación tratamientos	2001-02 Maíz			2002-03 Soja			2003-04 Trigo/soja			2004-05 Trigo/soja			2005-06 Maíz			
	N	P	S	N	P	S	N	P	S	N	P	S	N	P	S	
T1	N ₁ Pa S ₀	70	20	0	0	20	0	70	30	0	70	30	0	116	20	0
T2	N ₁ Pa S ₁	70	20	15	0	20	15	70	30	15	70	30	15	116	20	15
T3	N ₂ Pa S ₀	140	20	0	0	20	0	140	30	0	130	30	0	176	20	0
T4	N ₂ Pa S ₁	140	20	15	0	20	15	140	30	15	130	30	15	176	20	15
T5	N ₁ Pr S ₀	70	70	0	0	0	0	70	0	0	70	70	0	116	0	0
T6	N ₁ Pr S ₁	70	70	15	0	0	15	70	0	15	70	70	15	116	0	15
T7	N ₂ Pr S ₀	140	70	0	0	0	0	140	0	0	130	70	0	176	0	0
T8	N ₂ Pr S ₁	140	70	15	0	0	15	140	0	15	130	70	15	176	0	15
T9	N ₀ P ₀ S ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Dosis en kg ha⁻¹ de elemento; N1 y N2= dosis de N; S0 y S1= 0 y 15 kg ha⁻¹ de S; Pa y Pr= fósforo aplicado anualmente y a la rotación, respectivamente. Columna en gris indica el año de refertilización con fósforo.

RESULTADOS

Características climáticas de la campaña

Las precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo de maíz totalizaron 451 mm y casi el 50% del total ocurrieron desde el segundo decaído del mes de diciembre y durante todo el mes de enero. Por lo tanto, la disponibilidad de agua no habría limitado el crecimiento del cultivo dado que solo se registraron ligeros eventos de estrés hídrico durante dicho período (Figura 1), en el cual la disponibilidad de agua es clave para la obtención de elevados rendimientos en cultivos de maíz en secano (Calviño et al., 2003).

La temperatura media del aire de la estación de crecimiento 2005-06 fue más baja que la del trienio 1971-2000 durante el primer decadio de noviembre y diciembre (Figura 2), y se registraron dos heladas que afectaron hasta un 50% del área foliar al maíz bajo SD, no registrándose daños en el maíz bajo LC. Durante el período crítico de definición del rendimiento, esto es el segundo y tercer decadio

de enero, la temperatura media de la estación de crecimiento 2005-06 fue más baja que la histórica, lo que habría definido un ambiente apropiado para la determinación de elevados rendimientos, dado que en dicho período la radiación incidente de la estación de crecimiento 2005-06 fue similar o mayor que la histórica (Figura 2).

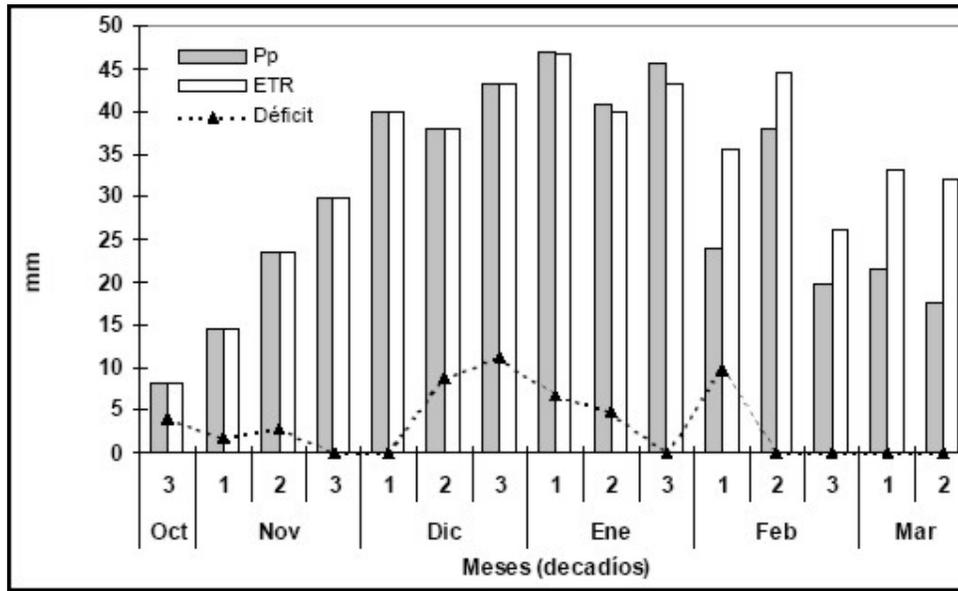


Figura 1. Precipitaciones (Pp), evapotranspiración real (ETR) y déficit hídrico decadal durante la estación de crecimiento del maíz.

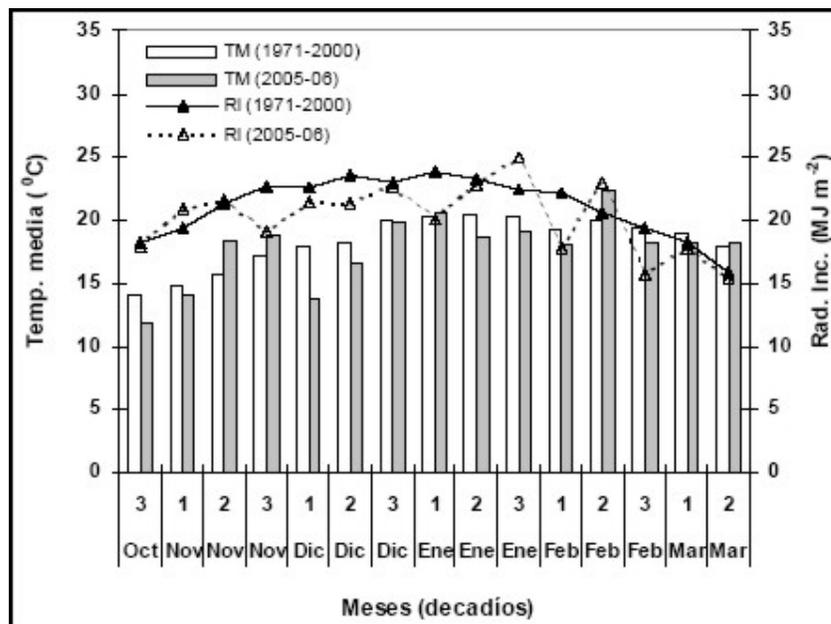


Figura 2. Temperatura media del aire (Temp. media) y radiación total incidente (Rad. Inc.) del trienio (1971-2000) y de la estación de crecimiento 2005-06.

Efecto de los tratamientos sobre algunas variables edáficas

Experimento I

Los sistemas de labranza empleados desde el 2001 no afectaron los valores de pH, materia orgánica (M.O), S-SO₄-2 y P-Bray al momento de la siembra del maíz (Tabla 3). Sin embargo, el contenido de N-NO₃- hasta los 60 cm fue mayor para LC que para SD (Tabla 3), lo que indica que el aporte de N del suelo se incrementó con el disturbio del mismo y que podrían haber existido menores pérdidas de N durante el barbecho bajo LC respecto de SD. Se ha reportado que la implementación de sistemas de labranza conservacionistas como la SD incrementa la M.O del suelo en los primeros centímetros de suelo respecto de la LC. Sin embargo, los resultados de este experimento indican que cuando el muestreo se realiza hasta los 20 cm se minimiza la diferencia entre sistemas de labranza, lo que podría ser debido al incremento de la M.O con la profundidad de muestreo bajo LC.

Tabla 3. Efecto de los tratamientos aplicados a la secuencia sobre algunas variables edáficas determinadas al momento de la siembra en el Experimento 1.

Nutrientes	N-NO ₃ ⁻ (0-60 cm) kg ha ⁻¹	S-SO ₄ ⁻	P-Bray mg kg ⁻¹	pH (0-20 cm)	M.O %
Control	62.7 a	34.0 a	15.4 bc	5.75 a	5.2 a
NP	54.0 a	25.0 a	18.6 ba	5.75 a	5.4 a
NS	60.6 a	32.0 a	13.0 c	5.68 a	5.3 a
PS	60.7 a	35.8 a	23.1 a	5.76 a	5.0 a
NPS	54.0 a	29.0 a	20.4 ab	5.77 a	5.2 a
NPS+Micro	58.0 a	30.5 a	21.0 a	5.83 a	5.7 a
NPS+Micro+Cal	54.0 a	30.2 a	19.5 ba	5.93 a	5.3 a
SD	49.8 b	33.0 a	17.8 a	5.82 a	5.2 a
LC	65.7 a	28.0 a	19.7 a	5.75 a	5.4 a

M.O= materia orgánica, P-Bray= p disponible por Bray y Kurtz (1945). Dentro de cada columna valores con la misma letra no difieren al 5% de probabilidad según el test de Tukey.

La aplicación de N no incrementó la M.O del suelo (Tabla 3), a pesar de que la aplicación de N a las gramíneas que integran la secuencia incrementaron los rendimientos de las mismas respecto del tratamiento que no recibió el agregado de dicho nutriente (PS vs NPS). Para el sudeste de Buenos Aires se han reportado similares resultados para ensayos de larga duración (Eiza et al. 2005). La falta de efecto del aporte de N sobre la M.O sería debido a la aceleración de los procesos de descomposición del C aportado por residuos, cuando los mismos poseen una menor relación C/N debido a la fertilización nitrogenada. La aplicación de S no incrementó significativamente el contenido de S-SO₄-2 a la siembra, aunque se observó una menor disponibilidad de S-SO₄-2 en el tratamiento NP (Tabla 3). La aplicación de distintas combinaciones de nutrientes tampoco afectó la disponibilidad de N-NO₃- ni el pH del suelo al momento de la siembra (Tabla 3). No obstante se determinó un mayor pH en el tratamiento con el agregado de cal.

Por otra parte, la concentración de P-Bray fue afectada por las distintas combinaciones de nutrientes, determinándose los menores valores para los tratamientos control y NS (Tabla 3). La caída del P disponible para el tratamiento NS fue mayor luego del primer cultivo (maíz 2001) que para los cultivos subsiguientes, no determinándose diferencias marcadas entre los sistemas de labranza (Fig. 3). En este tratamiento la exportación promedio anual de P fue de 13 kg ha⁻¹ para rendimientos de 8040, 2874, 4500 y 1373 kg ha⁻¹ de maíz, soja de primera, trigo y soja de segunda, respectivamente. En el tratamiento NPS la exportación anual promedio de P fue de 15.5 kg/ha-1 para rendimientos

promedios de 8700, 3300, 5000 y 1700 kg ha⁻¹ de maíz, soja de primera, trigo y soja de segunda, respectivamente, lo que resultó en un balance positivo dada la dosis empleada (Tabla 1). Este balance positivo explica el incremento en la concentración de P-Bray observada en este tratamiento luego del primer cultivo de maíz (2001) (Figura 3). Los resultados indican que a pesar de los elevados rendimientos determinados en el tratamiento NPS, la aplicación anual de 20 kg de P ha⁻¹ fue suficiente para mantener niveles de P-Bray de alrededor de 20-21 mg kg⁻¹ a la siembra del cultivo de maíz del 2005 (Figura 3). Estos valores son superiores a los umbrales de respuesta a la fertilización reportados para los cultivos realizados en la zona.

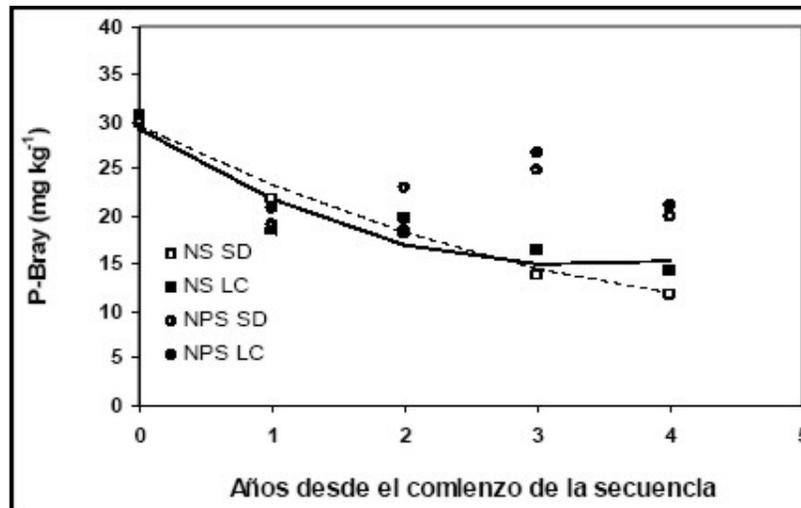


Figura 3. Evolución de la concentración de P-Bray desde el comienzo del experimento para distintas combinaciones de nutrientes en siembra directa (SD) y labranza convencional (LC). El año cero corresponde a la determinación previa a la siembra del primer cultivo de maíz en el 2001.

Experimento II

La aplicación de N, P o S no incrementó la M.O y la disponibilidad de N-NO₃⁻, comportamiento similar al observado en el Experimento 1 (Tabla 4). La aplicación de P a la rotación en el cultivo anterior (trigo 2004/soja segunda 2005) incrementó el P disponible a la siembra respecto de la fertilización anual y del tratamiento control (Tabla 4). La aplicación anual de 20 kg de P ha⁻¹ produjo incrementos en la concentración de P-Bray respecto del testigo (Tabla 4), lo que indica nuevamente que la aplicación anual 20 kg ha⁻¹ año⁻¹ fue suficiente para cubrir los requerimientos de cultivos de maíz, soja de primera, trigo y soja de segunda con rendimientos promedios de 8800, 2982, 5040 y 830 kg ha⁻¹, respectivamente, con una extracción anual promedio de 14 kg de P ha⁻¹. La aplicación de la dosis más elevada de N disminuyó la concentración de P-Bray al momento de la siembra, aunque esta diferencia no fue significativa. La aplicación de S no produjo cambios en la disponibilidad de P-Bray a pesar de que la misma incrementó el rendimiento en el trigo realizado en el 2003 y 2004. Por otra parte, la aplicación de la dosis más alta de N a las gramíneas de la secuencia incrementó la acidez del suelo (Tabla 4), resultados que coinciden con los reportados para la zona por Fabrizzi et al (1998). Si esta tendencia se confirma es de esperar respuestas positivas al encalado del suelo cuando se utilizan elevadas dosis de N.

La aplicación de S incrementó la disponibilidad de S-SO₄-2 (0-60 cm) al momento de la siembra del maíz respecto del tratamiento sin S (Tabla 4), lo que indicaría que el anión sulfato esta menos propenso a pérdidas que el anión nitrato, lo que resulta en cierta residualidad del S que puede ser

aprovechada por cultivos que integran la rotación.

Tabla 4. Efecto de los tratamientos aplicados a la secuencia sobre algunas variables edáficas determinadas al momento de la siembra en el Experimento 2.

	N-NO ₃ ⁻ (0-60 cm) kg ha ⁻¹	S-SO ₄ ⁻ (0-60 cm) kg ha ⁻¹	P-Bray mg kg ⁻¹	pH (0-20 cm)	M.O %
Prom. N1	66.2 a	31.8 a	28.3 a	5.68 a	5.28 b
Prom. N2	64.2 a	29.0 a	30.0 a	5.61 b	5.64 a
Prom. Pa	65.2 a	27.8 a	26.0 b	5.65 a	5.55 a
Prom. Pr	65.2 a	33.4 a	32.0 a	5.63 a	5.37 a
Prom. S0	62.0 a	26.8 b	28.2 a	5.66 a	5.41 a
Prom. S15	68.5 a	34.5 a	29.0 a	5.63 a	5.51 a
Control	66	40	15.5	5.77	5.7

M.O= materia orgánica, P-Bray= p disponible por Bray y Kurtz (1945). Dentro de cada columna valores con la misma letra no difieren al 5% de probabilidad según el test de Tukey.

Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento del cultivo

Experimento I

No se detectaron interacciones significativas entre las distintas combinaciones de nutrientes y sistemas de labranzas, por lo que se comparan efectos puros de cada factor de tratamiento (nutrientes y labranzas). Las diferentes combinaciones de nutrientes afectaron el rendimiento del cultivo de maíz. La aplicación de P incrementó el rendimiento del maíz (NS vs NPS) (Fig. 4), lo que es explicado por el valor de P-Bray al momento de la siembra para el tratamiento NS (Tabla 3), el cual fue inferior al umbral de respuesta de 15 mg kg⁻¹ reportado para la zona por García et al (1997). La aplicación de 126 kg N ha⁻¹ incrementó el rendimiento del cultivo (Fig. 4) respecto del tratamiento sin N (PS vs NPS) en aproximadamente 1700 kg ha⁻¹, lo que resulta en un valor de eficiencia de 13.5 kg grano kg N aplicado. Esta respuesta es explicada por la baja disponibilidad de N-NO₃⁻ al momento de la siembra, la cual osciló entre 50 y 60 kg ha⁻¹ (Tabla 3). Para la zona se ha reportado que la probabilidad de respuesta a la fertilización es elevada si la disponibilidad de N-NO₃⁻ en suelos de prolongada historia agrícola es menor a 150-160 kg N ha⁻¹ (0-60 cm) al momento de la siembra (Calviño et al., 2005).

Por otra parte el agregado de micronutrientes (Cu y Zn) no incrementó el rendimiento del maíz respecto del tratamiento sin micronutrientes (NPS vs NPS+M) (Fig. 4), lo que indica que la disponibilidad de estos micronutrientes en el suelo no limita aún el crecimiento del cultivo. Tampoco se observó efecto del agregado de cal (NPS+M vs NPS+M+cal) sobre el rendimiento (Fig. 4), a pesar que el agregado de cal provocó un ligero incremento del pH del suelo (Tabla 3), lo que indica que el nivel de acidez del tratamiento NPS+M (Tabla 3) es apto para mantener un adecuado crecimiento de las plantas y disponibilidad de otros nutrientes.

La fertilización con S no incrementó el rendimiento del maíz (NP vs NPS) (Fig. 4), lo que indica que la disponibilidad de S-SO₄⁻ al momento de la siembra del tratamiento NP (Tabla 3) más el aportado por mineralización fue suficiente para cubrir los requerimientos de cultivos de maíz de 11200 kg ha⁻¹. En cultivos de soja realizados en este sitio tampoco se han determinado incremento en el rendimiento de soja por el agregado de S (Cicore et al., 2005) pero si en cultivos de trigo (Reussi Calvo et al., 2006). Estos resultados indican que el aporte por mineralización es una fuente de S relevante para los

cultivos de verano, lo que limita la respuesta del cultivo al agregado de este nutriente. El sistema de labranza afectó el rendimiento del cultivo ya que se determinó un mayor rendimiento para el cultivo bajo LC que bajo SD (Fig. 3). Esta diferencia puede ser parcialmente explicada por una mayor disponibilidad de N bajo LC que bajo SD, lo que se vio reflejado en la disponibilidad de N-NO₃- al momento de la siembra (Tabla 3). Como se mencionó, el cultivo bajo SD fue afectado por dos heladas durante el estadio vegetativo, las cuales provocaron un retraso de aproximadamente 4 días en la fecha de floración, lo que contribuiría también a explicar el menor rendimiento observado bajo SD.

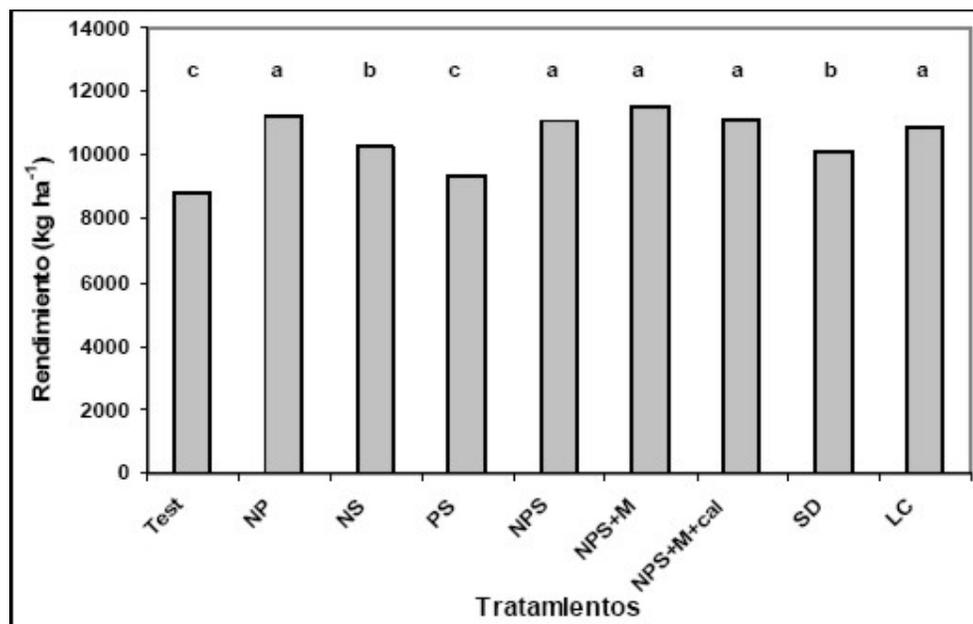


Figura 4. Rendimiento del cultivo de maíz en función de distintas combinaciones de nutrientes y del sistema de labranza. SD= siembra directa; LC= labranza convencional; M= cu+zn. Columnas con la misma letra no difieren al 5% de probabilidad según el test de Tukey

Experimento II

No se determinó interacción significativa entre los distintos factores de tratamiento sobre el rendimiento del cultivo. El rendimiento del cultivo se incrementó con el aumento de la dosis de N (Fig. 5), lo que indica que la disponibilidad de N en el suelo fue limitante para el crecimiento del cultivo. Estos resultados están en línea con lo observado en el Experimento I dada la similar disponibilidad de N-NO₃- al momento de la siembra (Tablas 3 y 4).

La estrategia de aplicación de P no afectó el rendimiento del cultivo y a su vez ambos tratamientos de fertilización no se diferenciaron del control (Figura 5), lo que sería explicado por el nivel de P-Bray de este último (Tabla 4), el cual es ligeramente superior al umbral de respuesta de 15 mg kg⁻¹ reportado por García et al. (1997).

La mayor disponibilidad de S-SO₄-2 generada por la aplicación del mismo a los distintos cultivos de la secuencia al maíz (Tabla 4) y por el agregado de S al maíz, no incrementaron el rendimiento del cultivo respecto del tratamiento sin S (Fig. 5). Estos resultados coinciden con lo observado en el Experimento I y nuevamente indican que la disponibilidad inicial más el aporte por mineralización en el tratamiento sin S fueron suficientes para abastecer los requerimientos del cultivos para los niveles de

rendimientos determinados.

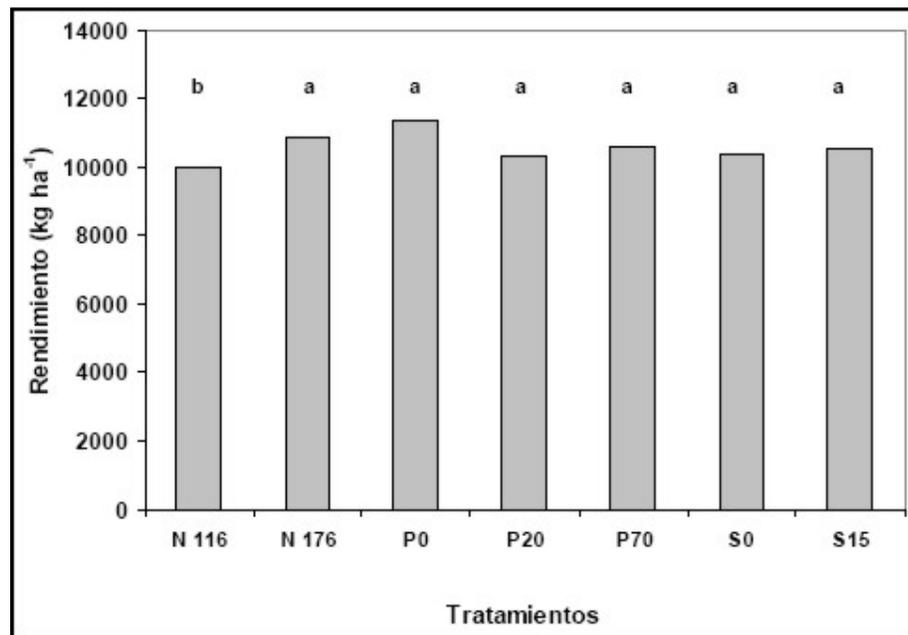


Figura 5. Rendimiento del cultivo de maíz en función del agregado de la dosis de N y S, y de dosis de P; 0, 20 y 70 corresponden a kg P ha⁻¹ agregados. La dosis de 70 se aplica una sola vez a toda la secuencia. Para cada factor, columnas con la misma letra no difieren al 5% de probabilidad según el test de Tukey.

Conclusiones

En ambos experimentos se determinó un fuerte incremento del rendimiento por el agregado de N, lo que indica que es el nutriente que más limitó el crecimiento y rendimiento del maíz. La aplicación de S no incrementó el rendimiento del maíz en ninguno de los dos experimentos, inclusive cuando se aportaron dosis elevadas de N. Esto sugiere que aún en suelos con prolongada historia agrícola como el de estos dos sitios, el aporte por mineralización es una fuente de S relevante para el cultivo.

La aplicación de P incrementó el rendimiento cuando se determinaron niveles de P-Bray menores al umbral reportado para la zona y no se determinaron diferencias en el rendimiento para las distintas estrategias de aplicación de P.

El agregado de Cu y Zinc no afectó el rendimiento del cultivo, lo que indica que la disponibilidad en suelo de los mismos aún no limita el crecimiento del cultivo.

El agregado de cal no incrementó el rendimiento del cultivo lo que indica que los niveles de acidez determinados son adecuados para el crecimiento del cultivo y la disponibilidad de macro y micronutrientes.

Bibliografía

- Bray RH, LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphate in soils. Soil Sci. 59: 39-45.
- Bremner J, D Keeney. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3 exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30:577-582.
- Calviño PA, HE Echeverría, HR Saíz Rozas, M Redolatti y PA Barbieri. 2005. Contribución de la capacidad de mineralización del suelo al diagnóstico de requerimiento de nitrógeno en maíz. VIII Congreso Nacional de Maíz. Rosario, 16-18 de noviembre de 2005.
- Calviño PA; FH Andrade y VO Sadras. 2003. Maize yield as affected by water availability, soil depth and crop management. Agronomy Journal. 92:275-281.
- Cicore PL, HR Sainz Rozas, HE Echeverría y PA. Barbieri. 2005. Respuesta del cultivo de soja al agregado de azufre en función de la disponibilidad hídrica y del sistema de labranza. Revista de Investigaciones Agropecuarias 34: 57-73.
- Eiza, MJ, N Fioriti, GA Studdert y H Echeverría. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. Ciencia del Suelo. 23: 59-67.
- Fabrizzi, KP, L Picone, A Berardo y FO García. 1998. Efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada en las propiedades químicas de un Argiudol Típico. Ciencia del Suelo. 16: 71-76.
- García, FO, KP Fabrizio, M Ruffo y P Scarabicchi. 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. Congreso Nacional de Maíz, 6, Pergamino, noviembre de 1997. Pergamino, Buenos Aires.