

INCIDENCIA DE LA FERTILIZACION NITROGENADA SOBRE LA CONCENTRACION DE NUTRIENTES EN MAIZ

V GOLDMAN, HE ECHEVERRIA, FH ANDRADE, S UHART

Unidad Integrada EEA INTA Balcarce- FCA UNMDP, C.C. 276, (7620) Balcarce, Argentina. E-mail: hecheverr@balcarce.inta.gov.ar

Recibido 21 de agosto de 2001, aceptado 30 de octubre de 2001

EFFECT OF NITROGEN FERTILIZATION ON NUTRIENT CONCENTRATION IN CORN

Corn (*Zea mays* L.) yields increased in the last years, and this increase has been associated with higher nutrient requirements. Nevertheless, nitrogen fertilization and the tillage system can produce changes in some soil characteristics and in the growth of crop roots that can improve the availability of other nutrients. The objectives of this work were to evaluate the effect of nitrogen fertilization and the tillage system on the concentration of macro and micronutrient in corn plants. Four experiments were conducted during the 1997/98 growing seasons. Three were conducted under conventional tillage (LC) in Balcarce, Paraná and Rafaela, and the other under LC and no-till (SD) in Balcarce. The treatments were N rate: 0, 70, 140 and 210 kg ha⁻¹. Another treatment consisting of 140 kg N ha⁻¹ plus sulfur, magnesium and zinc (140✧) was also included. Macro and micronutrients were determined in leaf samples collected at flowering (opposite to- and below the ear). The results were interpreted according to critical values (NC) and sufficiency ranges (RSN). Nitrogen availability and tillage system affected significantly nitrogen accumulation, dry matter and grain yield. The higher nitrogen availability in Paraná and Rafaela generated luxury consumption of nitrogen, whereas in Balcarce low nitrogen availability caused high nitrogen use efficiency. The addition of nitrogen increased sulfur and manganese leaf concentration in all experiments but did not affect calcium and magnesium concentrations. In Balcarce, this treatment also increased phosphorus, potassium, iron, copper and zinc concentration. The application of magnesium, sulfur and zinc at sowing did not improve corn yield. Under SD there were lower leaf nitrogen, potassium and iron concentration at flowering. The RSN at flowering, indicated that potassium, magnesium, sulfur, copper and zinc were the most limiting nutrients. However, grain yields were close to the potential yield for this locations.

Key words: corn, nitrogen fertilization, macronutrient, micronutrient, plant analysis.

INTRODUCCION

El rendimiento promedio del cultivo de maíz en la región Pampeana Argentina (RP) se ha incrementado en forma significativa en los últimos años. Este aumento en los rendimientos surge de la aplicación de un paquete tecnológico que permite un uso más eficiente de los factores ambientales no controlables (Andrade *et al.* 1996) asociado con el empleo de híbridos de alto potencial de rendimiento y sanidad, control de malezas e incremento en el uso de fertilizantes. El aumento en los rendimientos del cultivo está asociado con mayores requerimientos de nutrientes, en particular en sistemas de labranzas de tipo conservacionistas, como la siembra directa (SD). La demanda de nutrientes por el cultivo de maíz, podría crecer aún más si se generaliza el uso del riego suplementario.

En los últimos años se ha avanzado notablemente en el diagnóstico de las necesidades de nutrientes en la RP, con mayor énfasis en el nitrógeno y fósforo. Los requerimientos de estos nutrientes no pueden ser cubiertos por la oferta de los suelos en la mayoría de los casos, por lo que se debe recurrir a la fertilización.

En cuanto a la disponibilidad de potasio, calcio, magnesio y azufre, la información disponible es escasa, pero en su mayoría coincide en señalar que el suministro es adecuado para cubrir los requerimientos del cultivo de maíz, además, dadas las características de clima y suelo, no son de esperar carencias marcadas de alguno de ellos (Sillampaa 1982). Sin embargo se señala que el uso intensivo de fertilizantes nitrogenados, genera un aumento en la demanda de los de-

más nutrientes y en la actualidad, en zonas con prolongada historia agrícola se han determinado respuestas al agregado de azufre (Urricarriet, Lavado 1997).

Para la RP se ha reportado que la disponibilidad de zinc y cobre en suelos y la concentración en plantas, podría ser limitante para el maíz (Sillampaa 1982, Ratto de Miguez *et al.* 1997, Urricarriet, Lavado 1999), mientras que la de hierro y manganeso se encuentran dentro de valores considerados elevados.

La influencia del nitrógeno sobre los cambios en la disponibilidad y la concentración de los demás nutrientes en la planta ha sido estudiada a través de la incidencia de la forma y dosis de nitrógeno aplicada como fertilizante. Así, el empleo de fertilizantes amoniacales, en dosis altas y por períodos prolongados produce un aumento de la acidez del suelo (Malhi *et al.* 1998), que incrementa la disponibilidad de distintos nutrientes para el cultivo. Otro de los efectos de la aplicación de nitrógeno que ha generado interés, es la influencia que este posee sobre el desarrollo de las raíces de las plantas (Eghball, Maranville 1993, Eghball *et al.* 1993; Goss *et al.* 1993). Se ha comprobado que la tasa de extensión, número de ramificaciones y materia seca de las raíces fue mayor cuando se eleva el suministro de nitrógeno.

El tipo de labranza también produce cambios en algunas propiedades del suelo. Luego de varios años de agricultura bajo SD generalmente se produce aumento del contenido de materia orgánica (Salinas García *et*

al. 1997) y una mayor disponibilidad de micronutrientes (Edwards *et al.* 1992). Algunas de las causas que provocan esta mayor disponibilidad de micronutrientes son los cambios en las formas químicas en que estos se encuentran en el suelo (Edwards *et al.* 1992). Además, el rastrojo en superficie genera cambios en las características fisicoquímicas y biológicas del suelo afectando el crecimiento de las raíces de maíz (Thomas, Kaspar 1995).

Por lo tanto, es de esperar que en cultivos bien provistos con nitrógeno y fósforo y sin limitaciones hídricas en la RP no se presenten deficiencias de otros nutrientes. A pesar de esto, en la actualidad se recomienda el empleo de otros nutrientes basándose en el análisis de muestras de suelos y/o plantas.

Para el cultivo de maíz en ambientes de diferente fertilidad de la RP, se plantean como objetivos: 1) caracterizar la disponibilidad de nitrógeno del suelo, la acumulación de MS y nitrógeno en planta y el rendimiento del cultivo, 2) evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada y el tipo de labranza sobre la concentración de macro y micronutrientes y 3) determinar el efecto del agregado de azufre, manganeso y zinc al suelo sobre la concentración de nutrientes y el rendimiento en el cultivo de maíz.

MATERIALES Y METODOS

Se implantaron cuatro ensayos de fertilización nitrogenada en maíz (*Zea mays* L.), durante la campaña 1997/98. Los tres primeros se realizaron bajo LC y el cuarto en SD. El primero se reali-

Tabla 1. Principales características de los suelos de las tres localidades, en presiembra del maíz, promedio de tres repeticiones.

Table 1. Main soil characteristics of the tree locations, at presown of maize (mean of tree replications).

	pH	CIC	MO	P	K	Mg
Localidad		Cmol kg ⁻¹	%		mg kg ⁻¹	
Balcarce	6,0 (0,1)*	20 (1,5)	4,8 (0,5)	16 (0,6)	605 (43,6)	224 (11,2)
Paraná	6,6 (0,1)	22 (1,3)	4,6 (0,3)	45 (8,5)	650 (0,1)	418 (24)
Rafaela	5,9 (0,3)	14 (0,4)	3,5 (0,1)	51 (10,6)	646 (4,9)	231 (21,2)

Valores entre paréntesis corresponden a desvío estándar. Fuente: Spectrum Technologies

Values in parenthesis correspond to standard deviation. Source of information: Spectrum Technologies.

	Ca	S-SO ₄ ²⁻	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Localidad				mg kg ⁻¹			
Balcarce	1701(62,9)*	9 (0,6)	0,4 (0,1)	1,4 (0,1)	84,7 (1,2)	33,3 (0,6)	4,0 (1,0)
Paraná	2658 (141,0)	25 (2,5)	0,7 (0,1)	0,8 (0,1)	49,7 (5,4)	37,7 (0,6)	15,0 (1,0)
Rafaela	1142 (38,9)	28 (19)	0,5 (0,4)	1,4 (0,1)	67,5 (3,4)	49,0 (4,2)	4,5 (0,7)

Valores entre paréntesis corresponden a desvío estándar. Fuente de información: Spectrum Technologies

Values in parenthesis correspond to standard deviation. Source of information: Spectrum Technologies.

zó en la localidad de Paraná (32°2' S, 60°47' O), el segundo en Rafaela (31°12' S, 31°30' O) y el tercero y cuarto en Balcarce (37°45' S, 58°18' O). Los suelos de Paraná y Rafaela corresponden a Argiudol Típico y Balcarce a Paleudol Petrocálcico, las características de los mismos se presentan en la Tabla 1.

Se utilizó el híbrido DK 752 en Paraná y Rafaela con una densidad de 85.000 plantas por hectárea y el DK 639 en Balcarce con 74.100 plantas por hectárea, los cuales presentan buena adaptación a dichos ambientes. En Balcarce y Paraná se fertilizó con 20 kg P ha⁻¹ bajo la forma de superfosfato triple de calcio en la línea a la siembra. Los ensayos fueron regados por aspersión de manera tal que el contenido de agua en el suelo hasta el metro de profundidad no fuera menor al 50% de agua útil. Las malezas fueron controladas en preemergencia con glifosato, 2,4 D, atrazina, metalaclor y los insectos con aplicaciones de deltametrina. Las unidades experimentales comprendieron cinco hileras de plantas de 15 m de longitud con 0,70 m de separación entre surcos.

El diseño experimental en todos los ensayos fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en un testigo no fertilizado y tres dosis de nitrógeno (70, 140 y 210 kg N ha⁻¹) aplicadas como urea en el estadio de seis hojas (V6). Para la dosis de 140 kg N ha⁻¹ se incluyó otro tratamiento, con distintas cantidades de azufre, magnesio y zinc (140❖), aplicadas a la siembra. En Balcarce se emplearon 10, 7 y 2 kg ha⁻¹ de SO₄Zn, SO₄Mg y S, respectivamente, en Paraná 5 y 7 kg ha⁻¹ de SO₄Zn y SO₄Mg, respectivamente y en Rafaela 20 y 14 kg ha⁻¹ de SO₄Zn y SO₄Mg, respectivamente. Estas dosis surgen de la recomendación efectuada por el laboratorio Spectrum Technologies (USA) sobre muestras de suelos recolectadas en presiembra (0-20 cm) y analizadas por el método de Mehlich III (Mehlich 1984) (Tabla 1).

Se realizaron muestreos de suelo para determinar la evolución de N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺ (N-mineral) y de plantas para materia seca (MS) y nitrógeno orgánico, durante el ciclo del cultivo. En Balcarce los muestreos se realizaron antes de la siembra, a los 45 (V6-V8), 67 (V13), 102 (R2) y 155 (R6) días desde emergencia (DDE) para los tratamientos testigo, 70, 140 y 210 kg N ha⁻¹. En Paraná se realizaron antes de la siembra, a los 35 (V6-V8), 54 (V10), 75 (R1) y 153 (R6) DDE para los tratamientos testigo, 70, 140 140❖ y 210 kg N ha⁻¹ y por último en Rafaela, en presiembra, a los 35 (V6-V8), 53, 73 (R1) y 130 (R6) DDE para los tratamientos testigo, 70, 140 140❖ y 210 kg N ha⁻¹. Las profundidades de muestreo fueron 0-5, 5-20, 20-40 y 40-60 cm. Las muestras fueron conservadas a 5°C y luego tamizadas por 4,8 mm. El ni-

trógeno-mineral se determinó por el método de Bremner y Keeney (1966), MS por gravimetría y nitrógeno orgánico por el método de Nelson y Sommer (1973).

En floración (R1), se realizaron muestreos de la hoja opuesta y por debajo de la espiga (15 hojas por parcela) para la determinación de la concentración de macro y micronutrientes. Las muestras fueron secadas a 60 °C en estufa hasta peso constante y luego molidas en un molino de acero inoxidable. Se determinó fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre por digestión nítrica-perclórica (Shaw 1959) y manganeso, hierro, zinc y cobre por digestión nítrica (Miller W., comunicación personal). Calcio, magnesio, manganeso, hierro, zinc y cobre se cuantificaron por espectrofotometría de absorción atómica, fósforo mediante colorimetría, potasio por fotometría de llama (Walinga *et al.* 1995) y azufre por turbidimetría (San Martín *et al.* 1991).

Se realizó el análisis de la varianza y se empleó el Test de Rangos Múltiples de Duncan, con un nivel de probabilidad de 0,05, para comparar las medias de tratamientos. Los resultados de los análisis de planta fueron interpretados a través de los niveles críticos (NC) y el rango de suficiencia de nutrientes (RSN), tomando como referencia los valores publicados por Jones (1991, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSION

Las características meteorológicas de la campaña 1997-98 fueron favorables para el crecimiento del cultivo de maíz. La temperatura media del aire durante el ciclo del cultivo fue para los meses de enero y febrero inferior al promedio histórico (1977-96) para las tres localidades. Así, Balcarce presentó una diferencia de 0,8 y 1,5 °C, Paraná de 1,6 y 0,8 °C y Rafaela de 1,8 y 2,0 °C, para enero y febrero, respectivamente. La precipitación total acumulada del período 1997-98 fue 549, 976 y 905 mm para Balcarce, Paraná y Rafaela, respectivamente. Estos valores fueron 13,2, 41,1, y 40,0 % superior al promedio histórico, respectivamente. Así, las bajas temperaturas y precipitaciones superiores, con respecto al promedio histórico, acompañado del riego suplementario, contribuyeron a alargar el período de llenado de granos y a mantener una buena disponibilidad hídrica en la etapa crítica del cultivo, respectivamente.

Los niveles de nitrógeno mineral inicial y al finalizar el ciclo del cultivo fueron bajos en Balcarce, tanto en LC como SD (Figura 1a y 1b) y más elevados en Paraná y

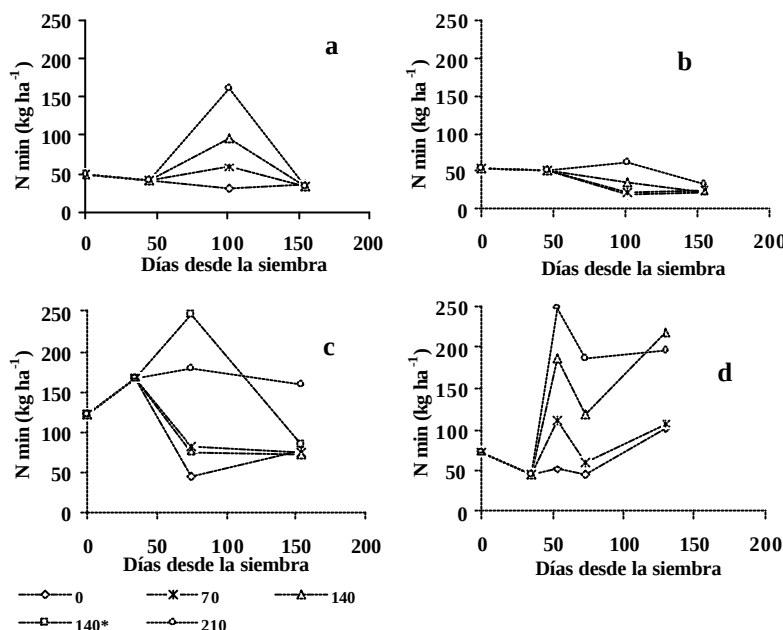


Figura 1. Evolución de nitrógeno mineral en el suelo durante el ciclo del cultivo de maíz en Balcarce bajo LC (a) y SD (b), en Paraná (c) y en Rafaela (d), ante diferente suministro de nitrógeno (0, 70, 140 y 210 kg N ha⁻¹).
 Figure 1. Soil mineral nitrogen evolution during the maize growing season LC (a) and SD (b) in Balcarce, in Paraná (c) and Rafaela (d), with different nitrogen supplies (0, 70, 140 and 210 kg N ha⁻¹).

Rafaela (Figura 1c y 1d). Los contenidos de nitrógeno mineral se incrementaron en función de la dosis de nitrógeno aplicada, llegando a valores de hasta 240 kg ha⁻¹ en Paraná y Rafaela y 160 y 60 kg ha⁻¹ en R2 en el tratamiento 210 kg N ha⁻¹ en Balcarce bajo LC y SD, respectivamente. Los bajos valores de disponibilidad de nitrógeno mineral en SD, estarían asociados con una menor tasa de mineralización del nitrógeno orgánico (Echeverría *et al.* 2001), con una mayor inmovilización del nitrógeno aplicado por la biomasa microbiana y con pérdidas de nitratos por lavado y desnitrificación, procesos que pueden incrementarse en este sistema de labranza (Sainz Rozas *et al.* 1997).

Los rendimientos aumentaron a través de los distintos niveles de nitrógeno en Balcarce y Rafaela, presentando el tratamiento 210 kg N ha⁻¹ valores mayores ($p < 0,001$) con respecto al testigo y 70 kg N ha⁻¹, mientras que en Paraná no se encontraron diferencias entre los tratamientos evaluados (Tabla 2). La respuesta al agregado de nitrógeno fue mayor en SD que en LC. La acumulación de nitrógeno aumentó ($p \leq 0,05$) a través de los

niveles de nitrógeno aplicados, donde el valor más bajo correspondió al testigo y el más alto al tratamiento 210 kg N ha⁻¹ (Tabla 2).

Las distintas ofertas de nitrógeno y los sistemas de labranza afectaron la acumulación de nitrógeno en la biomasa del cultivo. Así, la mayor disponibilidad inicial y durante el ciclo del cultivo de nitrógeno mineral en Paraná y Rafaela respecto a Balcarce en LC y SD explica la mayor acumulación de nitrógeno en el mismo y en parte justificarían los mayores rendimientos obtenidos en aquellas localidades. La relación entre el rendimiento y el nitrógeno acumulado permite confirmar el diferente comportamiento de Paraná y Rafaela respecto de Balcarce, ya que se requirieron 25, 25 y 14 kg ha⁻¹ de nitrógeno para producir 1 Mg ha⁻¹ de grano, respectivamente. Esto sugiere consumo de lujo en las primeras y elevada eficiencia de uso de nitrógeno en Balcarce, en particular para SD, lo que coincide con lo reportado por Salinas-García *et al.* (1997) y Sainz Rozas *et al.* (1997).

Se tomará la acumulación de nitrógeno como una forma de caracterizar la distinta oferta de nitrógeno sobre la concentración de

Tabla 2. Rendimiento en grano, materia seca y nitrógeno acumulado en madurez fisiológica del cultivo de maíz (R6) en las tres localidades. Letras diferentes difieren según la prueba de Duncan ($P=0,05$).

Table 2. Grain yield, dry matter and nitrogen accumulation at physiological maturity (R6) of maize in the tree locations. Different letters indicate significant difference by Duncan test ($P=0,05$).

Localidad	Fertilización	MS en R6 -----Mg ha ⁻¹ -----	Rendimiento	N acumulado kg ha ⁻¹
Balcarce LC	Testigo	15,7 b	7,35 c	75,0 d
	70	18,7 ba	9,72 b	127,6 c
	140	21,2 a	11,5 a	177,9 b
	140❖	21,1 a	10,9 a	171,3 b
	210	21,3 a	11,3 a	188,6 a
Balcarce SD	Testigo	14,6 c	6,37 c	67,0 d
	70	16,3 b	8,30 b	97,9 c
	140	18,5 a	9,76 a	140,4 b
	140❖	19,5 a	9,81 a	155,5 b
	210	19,6 a	11,6 a	175,2 a
Paraná	Testigo	21,6 b	11,5 a	223,1 c
	70	23,5 ab	12,5 a	259,2 bc
	140	22,4 b	12,5 a	304,7 ab
	140❖	23,6 ab	12,5 a	305,7 ab
	210	24,7 a	12,9 a	362,2 a
Rafaela	Testigo	16,7 d	8,82 d	199,3 b
	70	19,4 c	9,67 c	229,9 b
	140	22,2 b	11,7 b	339,0 a
	210	23,5 a	13,0 a	368,6 a

MS= materia seca, R6= madurez fisiológica, LC=labranza convencional y SD=siembra directa.

MS=dry matter, R6=physiological maturity, LC= conventional tillage and SD= no till.

nutrientes. El incremento en la concentración del mismo en hoja en función del nitrógeno acumulado fue pequeño a pesar de la severa deficiencia de nitrógeno comentada para Balcarce (Figura 2a). Estos resultados indicarían que la concentración de nitrógeno en la hoja opuesta y por debajo de la espiga en floración varía poco, a pesar del amplio rango de acumulación de nitrógeno obtenido. Esto implica baja sensibilidad de esta metodología de diagnóstico de deficiencia.

Los concentraciones de fósforo en la hoja bandera determinados en Paraná y Rafaela se encuentran por encima del RSN mencionado por Jones (1998) de 2,5-5,0 g kg⁻¹ y el NC mencionado por Andrade *et al.* (1996) de 2,4 g kg⁻¹ en casi todos los tratamientos, sugiriendo consumo de lujo de dicho nutriente (Figura 2b). En Balcarce los tratamientos testigo de ambos sistemas de labranza se ubican por debajo de dicho RSN, sugiriendo un leve estrés de fósforo y que la concentración de este nutriente en hoja se incrementó por efecto del

nitrógeno aplicado (Figura 2b). Esto indica que la distinta oferta de nitrógeno del suelo afecta la concentración de fósforo en la hoja opuesta y por debajo de la espiga de plantas de maíz, a pesar de que la disponibilidad de fósforo en el suelo era elevada. Esto se podría explicar en parte por el mayor desarrollo de las raíces del cultivo en aquellos tratamientos con las mayores dosis de nitrógeno y a que la tasa de absorción de fósforo aumenta cuando la disponibilidad de nitrógeno se incrementa (Lee 1993). Los valores de fósforo en hojas en R1 de las distintas localidades estarían asociados con los contenidos de fósforo en el suelo de las mismas (Tabla 1).

Las concentraciones de potasio en Paraná y Rafaela se ubican dentro del RSN de 17-30 g kg⁻¹ mencionado por Jones (1998). En Balcarce bajo LC los valores determinados están muy próximos al NC, mientras que en SD casi todos los tratamientos están por debajo del mismo, sugiriendo una leve deficiencia de dicho nutriente (Figura 2c). La dis-

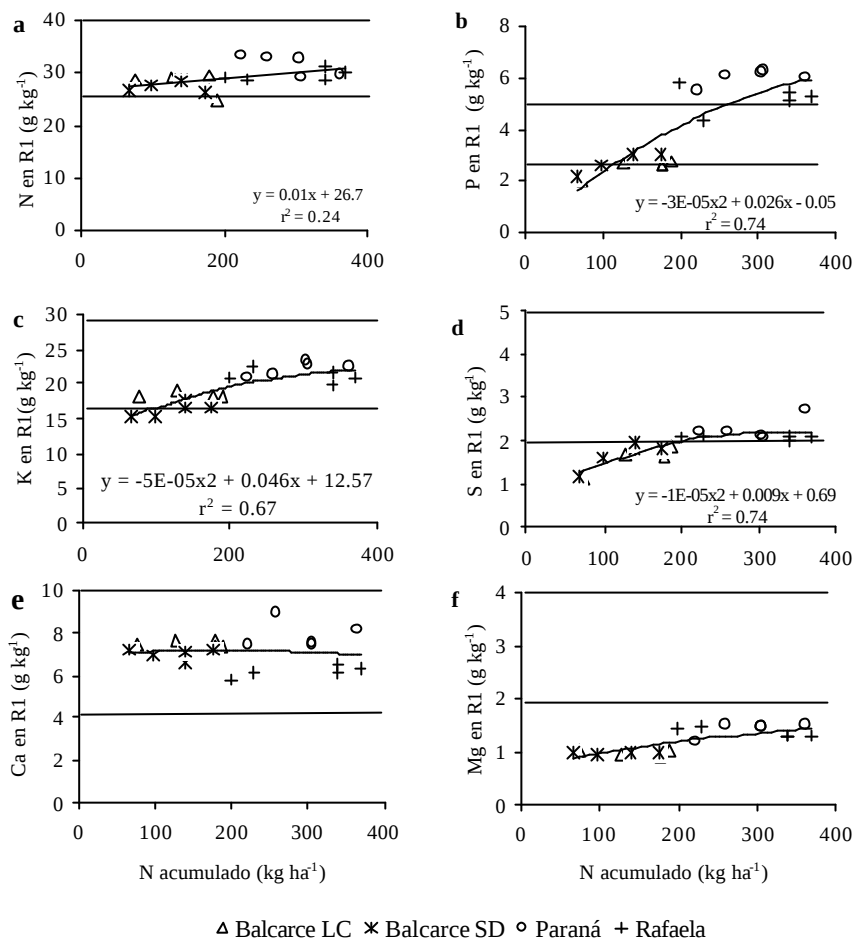


Figura 2. Concentración de nitrógeno (a), fósforo (b), potasio (c), azufre (d), calcio (e) y magnesio (f) en hoja de maíz en floración en función del nitrógeno acumulado por el cultivo en madurez fisiológica, en Balcarce, Paraná y Rafaela. Las líneas paralelas indican los RSN (Jones 1991, 1998).

Figure 2. Maize leaf nitrogen (a), phosphorus (b), potassium (c), sulfur (d), calcium (e) and magnesium (f) concentration at flowering as a function of nitrogen accumulation by the crop at physiological maturity in Balcarce, Paraná and Rafaela. Parallel lines represent RSN (Jones 1991, 1998).

ponibilidad de nitrógeno del suelo incrementó la concentración de potasio en la hoja opuesta y por debajo de la espiga en R1. De todos modos, el agregado de nitrógeno en SD no fue suficiente como para superar el NC. La mayor absorción de potasio en plantas de maíz en LC con respecto a SD, durante todo el ciclo del cultivo, podría ser consecuencia de una menor tasa de crecimiento de raíces en SD en el período de prefloración, en los primeros 75 mm de suelo, sitio en el cual la disponibilidad de potasio era elevada. Numerosos trabajos confirman la estratificación del potasio del suelo en SD (Karathanasis, Wells 1990, Karlen *et al.* 1991, Bordoli, Mallarino 1998).

Las concentraciones de azufre en Paraná y Rafaela se ubican dentro del rango de 2-5 g kg⁻¹ (Jones 1998), pero muy próximos al NC, mientras que en Balcarce, tanto en LC como en SD, están por debajo de dicho rango (Figura 2d), lo que se relaciona con los contenidos en el suelo (Tabla 1). Estos resultados sugieren un estrés de azufre en Balcarce, sin embargo, no se encontró respuesta al agregado del mismo (140♦). Aumentos en la disponibilidad de nitrógeno produjeron incrementos en las concentraciones de azufre, lo cual fue determinado por Elwali y col. (1985). Se ha mencionado que existe una regulación mutua en la absorción y el transporte de ni-

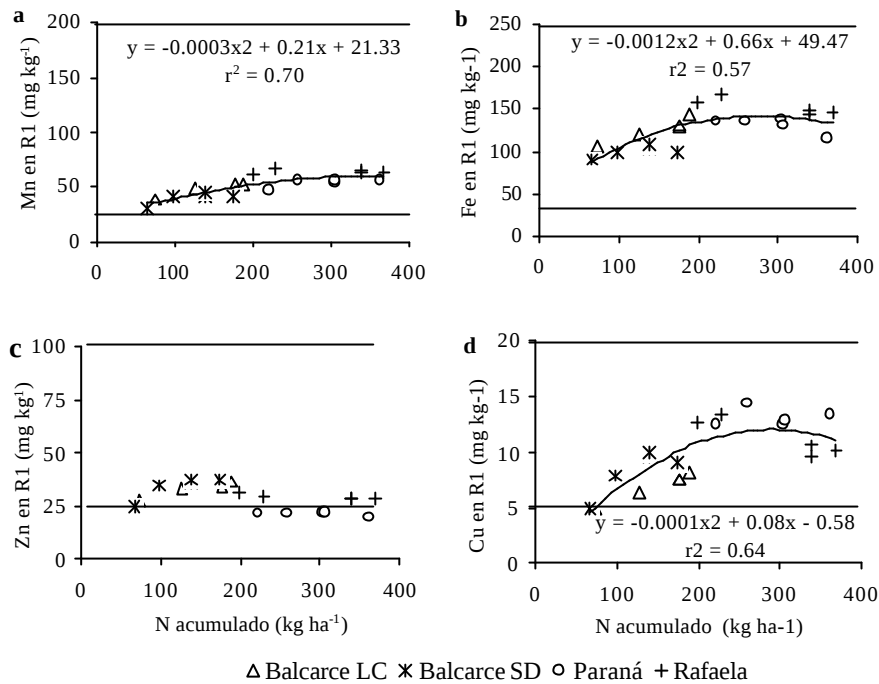


Figura 3. Concentración de manganeso (a), hierro (b), zinc (c) y cobre (d) en hoja de maíz en floración en función del nitrógeno acumulado por el cultivo en madurez fisiológica, en las localidades estudiadas. Las líneas paralelas indican los RSN según Jones (1991, 1998).

Figure 3. Maize leaf manganese (a), iron (b), zinc (c) and copper (d) concentration at flowering as a function of nitrogen accumulation by the crop at physiological maturity in Balcarce, Paraná and Rafaela. Parallel lines represent RSN (Jones 1991, 1998).

trógeno y azufre (Clarkson *et al.* 1989), plantas sometidas a estrés de nitrógeno disminuyen la absorción de azufre, lo que podría explicar los resultados obtenidos.

Las concentraciones de calcio en plantas de maíz en R1 están dentro del RSN (4-10 g kg⁻¹, Jones 1991) (Figura 2e). No se determinó incremento en la concentración del mismo al aumentar la disponibilidad de nitrógeno.

De acuerdo a los RSN de 2-4 g kg⁻¹ para magnesio en plantas de maíz en R1, mencionado por Jones (1991), las tres localidades y ambos sistemas de labranza se encuentran por debajo de los mismos (Figura 2f). Esto sugiere deficiencia de magnesio en el cultivo, aunque no hubo aumento en la concentración de dicho nutriente por el agregado del mismo a la siembra en las tres localidades, coincidiendo con lo reportado por Elwali *et al.* (1985). Tampoco se determinaron diferencias en la concentración de magnesio por la distinta oferta de N, por lo tanto, estos resulta-

dos indicarían que la concentración de magnesio en la hoja opuesta y por debajo de la espiga varía muy poco, a pesar del amplio rango de acumulación de nitrógeno obtenido (Figura 2f).

La concentración de manganeso en R1 están dentro del RSN, 20-200 mg kg⁻¹ y 20-150 mg kg⁻¹ mencionados por Jones (1991, 1998) en las tres localidades y ambos sistemas de labranza. Además, se determinó un incremento en la concentración de manganeso al aumentar la disponibilidad de nitrógeno (Figura 3a), lo cual coincide con lo citado por otros autores donde el incremento de la fertilización con nitrógeno aumentó la concentración y acumulación de manganeso (Elwali *et al.* 1985, Riedell *et al.* 1998).

La concentración de hierro se encuentran dentro del RSN de 21-250 mg kg⁻¹ (Jones 1991), en las tres localidades y ambos sistemas de labranza (Figura 3b). En Balcarce en SD la concentración de hierro se mantienen por debajo de los obtenidos en LC (Figura 3b).

La menor concentración de hierro en las plantas bajo SD ha sido mencionado por Lavado y Pocelli (1999), quienes señalan que en SD la concentración en el suelo es menor y que el desarrollo de raíces no es tan abundante con respecto a LC (Kaspar *et al.* 1991).

Los valores de zinc en Balcarce, Rafaela y de ambos sistemas de labranza están dentro del RSN de 25-100 mg kg⁻¹ (Jones 1991, 1998), mientras que Paraná está por debajo del mismo (Figura 3c), indicando una leve deficiencia de dicho nutriente. Además, estas concentraciones están por debajo del valor medio mencionado para el área maicera núcleo de 37 mg kg⁻¹ en R1 (Melgar com. personal). No se determinó aumento en la concentración de zinc por el agregado del mismo a la siembra en las tres localidades y bajo los dos sistemas de labranza, aunque se menciona que aplicaciones continuas de zinc durante años produjeron variaciones en el contenido de dicho nutriente en hojas de maíz en R1 y grano (Mullins *et al.* 1982). Solamente en Balcarce en LC y SD se determinó un aumento en la concentración de zinc al incrementar la disponibilidad de N, coincidiendo con lo mencionado por Elwali y col (1985) y Riedell *et al.* (1998).

La concentración de cobre se ubicaron dentro del RSN de 6-20 mg kg⁻¹ (Jones 1991, 1998) en Paraná y Rafaela. En Balcarce tanto en LC y SD los tratamientos con menor disponibilidad de nitrógeno presentaron concentraciones por debajo del mencionado RSN (Figura 3d). Además, las concentraciones de Balcarce se encuentran por debajo del valor medio registrado para el área maicera núcleo, de 8 mg kg⁻¹ en R1 (Melgar com. personal).

En síntesis, se determinó que la distinta oferta de nitrógeno incrementó la concentración de azufre y manganeso, en todas las localidades y de fósforo, potasio, hierro, zinc y cobre en Balcarce en LC y SD. Por el contrario, no modificó las concentraciones de calcio y magnesio.

No se determinó aumento en el rendimiento y en la concentración de azufre, magnesio y zinc en la hoja opuesta y por debajo a la espiga del cultivo de maíz por el agregado de dichos nutrientes al suelo a la siembra, lo que sugiere que los umbrales utilizados para diagnosticar requerimientos de

nutrientes a partir de muestras de suelo fueron elevados para estas condiciones.

La SD genera condiciones que determinaron menor concentración de nitrógeno, potasio y hierro en plantas de maíz, que la SD.

Según la concentración de nutrientes en hojas de maíz en R1, en la RP calcio, manganeso y hierro no serían limitantes para la obtención de rendimientos máximos del cultivo. Por el contrario, según los umbrales de NC y RSN citados en la literatura, potasio, azufre, cobre y zinc, podrían limitar los rendimientos, hecho que no se produjo en esta experiencia y que sugiere que los mismos fueron elevados para estas condiciones.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo recibido de los técnicos de las Estaciones Experimentales de INTA participantes del proyecto PEI INTA 80-033, muy especialmente por la colaboración recibida en Paraná por los Ing. O. Paparotti y R. Melchiori y en Rafaela por H. Fontanetto. Trabajo financiado por los proyectos PEI INTA 80-033 y 15/A107 de la FCA-UNMP.

REFERENCIAS

- Andrade F, Cirilo A, Uhart S, Otegui M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Ed. DekalbPress. 292 p.
- Bordoli JM, Mallarino A. 1998. Deep and shallow banding of Phosphorus and Potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. *Agron. J.* 90:27-33.
- Bremner J, Keeney D. 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.
- Clarkson DT, Leslie RS, Purves JV. 1989. Depression of nitrate and ammonium transport in barley plants with diminished sulphate status. Evidence of co-regulation of nitrogen and sulphate intake. *Journal of Experimental Botany.* 40:953-963.
- Echeverría H E, Sainz Rozas HR. 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado al estadio de seis hojas del maíz bajo riego en siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo* 19:57-66.
- Edwards JH, Wood CW, Thulow DL, Ruf ME. 1992. Tillage and crop rotation effects on fertility status. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1577-1582.

- Eghball B, Maranville JW. 1993. Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stress. *Agron. J.* 85: 147-152.
- Eghball B, Settimi JR, Maranville JW, Parkhurst AM. 1993. Fractal analysis for morphological description of corn roots under nitrogen stress. *Agron. J.* 85: 287-289.
- Elwali AM, Gascho G.J, Summer ME. 1985. DRIS Norms for 11 nutrients in corn leaves. *Agron. J.* 77:506-508.
- Goss MJ, Miller MH, Bailey LD, Grant CA. 1993. Root growth and distribution in relation to nutrient availability and uptake. *Eur. J. Agron.* 2: 57-67.
- Jones JB. 1991. Plant tissue analysis in micronutrient. Páginas 478-513. En J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman, R. M. Welch (Ed.). *Micronutrient in Agriculture*. Soil Sc. Soc. of Am. Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Jones JB. 1998. *Plant Nutrition Manual*. CRC Press LLC. 149 p.
- Karathanasis AD, Wells KL. 1990. Conservation tillage effects on potassium status of some Kentucky soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:800-806.
- Karlen, DL, Berry EC, Colvin TS, Kanwar RS. 1991. Twelve-year tillage and crop rotation effects on yields and soil chemical properties in northeast Iowa. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22:1985-2003.
- Kaspar TC, Logsdon SD, Prieksat MA. 1995. Traffic pattern and tillage system effects on corn root and shoot growth. *Agron. J.* 87:1046-1051.
- Lavado RS, Pocelli CA. 1999. Contents and main fraction of trace elements in Typic Argiudolls of the Argentinean Pampas. *Chemical Speciation and Bioavailability* (en prensa).
- Lee RB. 1993. Control of net uptake of nutrients by regulation of influx in barley plants recovering from nutrient deficiency. *Annals of Botany.* 72:223-230.
- Malhi SS, Nyborg M, Harapiak JT. 1998. Effects of long-term fertilizar-induced acidification and liming on micronutrient in soil and brome grass hay. *Soil and Tillage Research* 48:91-101.
- Mehlich A. 1984. Mehlich III soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15:1409-1416.
- Mullins GL, Martens DC, Gettier SW, Miller WP. 1982. Form and availability of copper and zinc in a Rhodic Paleudult following long-term CuSO_4 and ZnSO_4 applications. *J. Environ. Quality.* 11:573-577.
- Nelson DW, Sommers L E. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. *Agron. J.* 65:109-112.
- Ratto de Miguez S, Giuffre L, Sainato C. 1997. Variación espacial de micronutrientes en suelo y planta en un molisol. *Ciencia del Suelo* 15:39-41.
- Riedell WE, Schumacher TE, Clay SA, Ellsbury MM, Praveck M, Evenson P. 1998. Corn and soil fertility responses to crop rotation with low, medium, or high inputs. *Crop Sci.* 38:427-433.
- Sainz Rozas HR, Echeverría HE, Andrade FH, Studdert GA. 1997. Efecto del inhibidor de la ureasa y momento de fertilización sobre la absorción de nitrógeno y rendimiento del cultivo de maíz bajo siembra directa. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 102:129-136.
- Salinas García JR, Hons F.M, Matocha JE. 1997. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:152-159.
- San Martín N.F, Navarro C, Echeverría H. 1991. Determinación de azufre total en material vegetal. *IDIA.* 457-462:40-45.
- Shaw, W.M. 1959. Nitric-perchloric acid oxidation for sulfur in plant and animal tissues. *Agricultural and Food Chemistry* 7: 843 - 847.
- Sillampaa M. 1982. Micronutrient and the nutrient status of soils a global study. *FAO Soils Bolletin.* Rome. 44 p.
- Thomas AL, Kaspar TC. 1995. Maize nodal root response to soil ridging and three tillage systems. *Agron. J.* 87:853-858.
- Urricariet S, Lavado RS. 1997. Respuesta del maíz a fertilizaciones balanceadas en suelos deteriorados. VI Congreso Nacional de Maíz. Pergamino, Noviembre 1997. 219-224.
- Urricariet S, Lavado RS. 1999. Indicadores de deterioro de los suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 17:37-44.
- Walinga I, Van Der Lee JJ, Houba VJG, Van Vark W, Novozamsky I. 1995. *Plant analysis Manual*. Kluwer Academic Publishers.