

EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE AZUFRE EN MAÍZ: INDICADORES DE SUELO E INDICADORES VEGETALES. UTILIDAD DEL MEDIDOR DE CLOROFILA

Agustín Pagani y Hernán Echeverría*

Introducción

El azufre (S) es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas y su deficiencia ha sido reportada en numerosos cultivos (Havlin et al., 2005), incluyendo el maíz. Generalmente, suelos arenosos con bajo contenido de materia orgánica han sido identificados como escenarios frecuentes de respuesta al agregado de S. Además, la siembra directa, el empleo de fertilizantes y pesticidas libres de impurezas azufradas, la intensificación de la agricultura y la reducción de las emisiones atmosféricas de gases que contienen S han contribuido a la aparición cada vez más frecuente de sitios con respuesta a la aplicación de este nutriente. Respuestas a S por parte del cultivo de maíz han sido documentadas en numerosas regiones del mundo (Mallarino et al., 2000; Weil y Mughogho, 2000) así como también en la Argentina (Fontanetto et al., 2000; Prystupa et al., 2006; Pagani et al., 2009a).

El desarrollo de indicadores de disponibilidad de S para los cultivos es fundamental para el uso racional de fertilizantes. Si bien se ha trabajado mucho para determinar un método confiable para determinar deficiencias de S en el cultivo de maíz, aun no hay consenso entre los investigadores acerca de que metodología arroja los mejores resultados (Scherer, 2001). En general, los análisis de suelos no han resultado de utilidad para diagnosticar deficiencias de S en maíz (Scherer, 2009) por lo que los análisis de material vegetal son normalmente preferidos. En este sentido, la concentración de S total en planta y la relación nitrógeno (N):S han sido propuestas como herramientas para caracterizar el estatus azufrado del cultivo de maíz. Así, Tandon (1984) sugirió que el umbral crítico de S en hojas de maíz se encuentra entre 0.015 y 0.05 g kg⁻¹, aunque este valor varía en función del estadio de desarrollo. Por otro lado Terman et al. (1973) reportaron la utilidad de la relación N:S en planta como indicador del estatus azufrado del maíz. Estos investigadores propusieron una relación N:S aceptable de 16:1 o menor. Sin embargo, Kang y Osiname (1976) concluyeron que la relación N:S no es un buen indicador del estatus azufrado del cultivo.

La deficiencia de S en el cultivo de maíz, al igual que la de N, se caracteriza por un amarillamiento (clorosis) del follaje (Hitsuda et al., 2005). Sin embargo, debido a la

escasa movilidad del S dentro de la planta (a diferencia del N), los síntomas de su deficiencia se manifiestan generalmente en los estratos superiores del cultivo. Para N se han desarrollado métodos de diagnóstico basados en la cuantificación de la intensidad de color verde de las hojas (Blackmer y Schepers, 1995), pero no existe evidencia en la bibliografía acerca de la utilidad de la cuantificación del verdor foliar como herramienta para caracterizar el estatus azufrado del maíz.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la utilidad de diferentes métodos de diagnóstico de S para el cultivo de maíz.

Materiales y métodos

Se realizaron cinco experimentos en dos localidades de la región pampeana durante los años 2005 a 2009 con diferentes dosis de S. En la campaña 2005-2006 se empleó un experimento de larga duración en la Estación Experimental INTA de Balcarce en adelante denominado Balcarce I (Bce I), mientras que en la campaña 2006-2007 se realizaron dos experimentos, uno en el mismo sitio, denominado Balcarce II (Bce II) y otro en la localidad de 9 de Julio, denominado 9 de Julio I (9dJ I). Durante la campaña 2007-2008 se condujo un cuarto experimento en 9 de Julio, en adelante denominado 9 de Julio II (9dJ II). Finalmente, en la campaña 2008-2009 se utilizó nuevamente el ensayo de larga duración de Balcarce (Bce III). Algunas características de los suelos y prácticas de manejo de los cinco experimentos son presentadas en la **Tabla 1**. Todos los ensayos fueron fertilizados con 20-30 kg ha⁻¹ de fósforo (P) y 120-150 kg ha⁻¹ de N, asegurando una elevada disponibilidad. Las fuentes de N, P y S fueron urea granulada (46-0-0), superfosfato triple de calcio (0-20-0) y sulfato de calcio (20% S, 16% Ca), respectivamente.

En Bce I y Bce III se empleó diseño en bloques completos aleatorizados (DBCA) con tres repeticiones. En ambos experimentos se emplearon dos sistemas de labranza, convencional (LC) y directa (SD), y dos niveles de S (0 y 15 kg ha⁻¹). En Bce II, 9dJ I y 9dJ II, el sistema de labranza utilizado fue SD y el diseño DBCA (con tres repeticiones) con niveles de S de 0, 8 y 16 kg ha⁻¹ para Bce I y 9dJ I, y 0, 5, 10 y 20 kg ha⁻¹ para 9dJ II.

* Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce, CC 276, (7620) Balcarce, Argentina. Correo electrónico: paganiagustin@hotmail.com

Tabla 1. Algunas características de los suelos, y prácticas de manejo y determinación de índice de verdor con el medidor de clorofila Minolta SPAD 502 en los cinco experimentos.

	Bce I	Bce II	Bce III	9dJ I	9dJ II
Localidad	Balcarce	Balcarce	Balcarce	9 de Julio	9 de Julio
Año	2005-2006	2006-2007	2008-2009	2006-2007	2007-2008
Tipo de Suelo	Argiudol Típico	Argiudol Típico	Argiudol Típico	Hapludol Típico	Hapludol Entico
Materia orgánica (g kg ⁻¹)	53 (6.4)	53 (1.4)	49 (3.7)	28 (4.8)	23 (1.2)
pH (1:2.5)	5.9 (0.3)	5.3 (0.12)	5.9 (0.2)	6.3 (0.1)	6.4 (0.6)
P (mg kg ⁻¹)	19.8 (5.9)	8.0 (2.81)	20.1 (4.7)	9.0 (3.5)	18.1 (1.5)
NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹) 0-20 cm	13.3 (2.2)	14.8 (1.6)	17.6 (0.9)	9.0 (1.6)	10.5 (1.1)
20-40 cm	7.7 (1.5)	11.9 (2.1)	8.9 (0.6)	7.2 (1.4)	8.1 (0.7)
40-60 cm	5.7 (0.5)	9.0 (1.0)	6.5 (0.7)	4.6 (1.8)	6.1 (0.3)
SO ₄ ²⁻ -S (mg kg ⁻¹) 0-20 cm	5.4 (0.4)	5.9 (1.1)	4.6 (0.3)	5.3 (1.0)	6.0 (1.7)
20-40 cm	4.5 (1.1)	4.4 (0.6)	4.0 (0.8)	5.0 (1.6)	2.7 (0.4)
40-60 cm	4.5 (0.8)	3.7 (0.6)	4.0 (0.8)	5.0 (0.3)	3.4 (1.3)
Híbrido	Dekalb 682RR	Dekalb 682RR	Dekalb 682RR	Nidera 882 CL	Nidera 882 CL
Densidad (pl. ha ⁻¹)	75 000	76 200	75 700	84 000	90 000
Espaciamiento/hileras (cm)	70	52	52	70	70
Fecha de siembra	14 Oct.	13 Oct.	15 Oct.	11 Oct.	24 Sept.
Sistema de labranza	LC y SD	LC	LC y SD	SD	SD
Dosis de S (kg ha ⁻¹)	0 y 15	0, 8 y 16	0 y 15	0, 8 y 16	0, 5, 10 y 20
SD: Siembra directa					
LC: Labranza convencional					

En el estadio de 6 hojas expandidas (V6), pre-floración, post-floración y madurez fisiológica se realizaron muestreos de planta entera con el fin de determinar la concentración de N y S total en planta. Para ello, se cortaron 10 plantas al azar por parcela al nivel del suelo, el material se pesó, se tomó una alícuota y ésta se secó en estufa a 60 °C hasta peso constante para determinar materia seca. Una fracción de dicha alícuota fue molida (0.84 mm de malla) a fin de realizar las determinaciones de la concentración de N y S. Las mismas fueron realizadas a través de combustión seca a 950 °C y 1350 °C, respectivamente, con un equipo LECO TruSpec CNS (LECO, 2008). Al momento de la cosecha, se determinó el stand de plantas por parcela, se tomaron los tres surcos centrales y se recolectaron manualmente las espigas correspondientes a las plantas de los cinco metros centrales. La trilla se efectuó mediante trilladora estacionaria y se expresó el rendimiento en kg ha⁻¹ a 14% de humedad. De los granos cosechados, se tomó una alícuota y se realizaron determinaciones de la concentración de N y S en grano.

Se realizaron determinaciones de índice de verdor (IV) con el medidor de clorofila Minolta SPAD 502 ® (30 lecturas por parcela) en diferentes estadios y días después de la emergencia (DDE), en los momentos de: 51, 55, 62, 71 y 76 días DDE en Bce I (V7, V8, V11, V13 y V15, respectivamente); 40, 56, 65, 70, 79 y 91 DDE en Bce II (V5, V8, V12, V13, V16 y R2, respectivamente); 39, 48, 54, 58, 68, y 75 DDE at Bce III (V6, V8, V10, V11, VT, y R1); 26, 33, 50, 55, 66 y 76 DDE en 9dJ I (V5, V6, V11, V13, V18 y R2, respectivamente); y 37, 43, 56, 63, 73 y 80 DDE en 9dJ II (V6, V7, V11, V14, V18 y R2, respectivamente). Dichas determinaciones se realizaron: i) en el estrato medio del canopeo (última hoja expandida, aproximadamente a la mitad de la distancia entre el tallo y el ápice y a la mitad de la distancia entre el borde de la hoja y la nervadura central (Blackmer y Schepers, 1995) y ii) en el estrato superior del mismo (última hoja no enrollada). Con los valores de IV se determinó un nuevo Índice de Suficiencia de S (ISS), análogo al índice de suficiencia de N (Blackmer y Schepers, 1995), de la siguiente manera:

$$ISS = IV_{S_{-}} / IV_{S_{max}}$$

donde:

$IV_{S_{-}}$: índice de verdor de los tratamientos con S eventualmente limitante.

$IV_{S_{max}}$: índice de verdor de los tratamientos con S no limitante.

Se determinó rendimiento en grano expresado a 14% de humedad. Se calculó el rendimiento relativo (RR) de la siguiente manera:

$$RR = Rto_{S_{-}} / Rto_{S_{max}}$$

donde:

$Rto_{S_{-}}$: rendimiento de los tratamientos con S eventualmente limitante.

$Rto_{S_{max}}$: rendimiento de los tratamientos con S no limitante.

Se realizaron análisis de varianza y de regresión lineal simple utilizando los procedimientos GLM y REG, respectivamente, incluidos en las rutinas del programa Statistical Analysis System. Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas, se empleó el test de la diferencia mínima significativa (LSD). Se utilizó el procedimiento de Cate y Nelson (1965) para establecer umbrales críticos que separen valores mayores y menores al 95% del RR. En todos los análisis el nivel de significancia fue del 10%.

En Bce I y 9dJ I, las precipitaciones registradas durante el ciclo del maíz tuvieron adecuada distribución, totalizando 490 y 594 mm, respectivamente, por lo que la disponibilidad de agua no habría limitado en forma significativa el crecimiento del cultivo. Por su parte, en Bce II y 9dJ II, las precipitaciones totales alcanzaron 522 y 453 mm pero con una inadecuada distribución, ya que estas no fueron abundantes alrededor de la floración del cultivo, situación que condicionó el rendimiento en ambos experimentos. En Bce III, las precipitaciones durante el ciclo alcanzaron los 308 mm y se adicionaron 290 mm de riego, sin embargo el cultivo sufrió deficiencia hídrica debido a la alta tasa evapotranspirativa que tuvo lugar durante la campaña.

Resultados y discusión

Rendimiento

El rendimiento promedio de los ensayos fue 11 120 kg ha⁻¹ en Bce I, 9850 kg ha⁻¹ en Bce II, 9080 kg ha⁻¹ en Bce III, 14 690 kg ha⁻¹ en 9dJ I y 9870 kg ha⁻¹ en 9dJ II. No se registró efecto significativo de la aplicación de S sobre el rendimiento en Bce I pero si en Bce II (11% de incremento de rendimiento), Bce III bajo LC (11%), 9dJ I (6 y 11% para 8 y 16 kg S ha⁻¹, respectivamente) y 9dJ II (1, 4 y 12% para 5, 10 y 20 kg S ha⁻¹,

respectivamente) (Tabla 2). Estas respuestas a la fertilización azufrada coinciden con las reportadas por otros investigadores en la Región Pampeana (Fontanetto et al., 2000; Ventimiglia, 2005; Ferraris y Couretot, 2006) así como en otras partes del mundo (Weil y Mughogho, 2000; Mallarino et al., 2000).

Concentración de N y S en planta

La aplicación de S, en general, no incrementó significativamente la concentración de N en planta (Tabla 2), tal cual lo reportado por Khan et al. (2006). El agregado de S tendió a incrementar la concentración de este nutriente en planta, aunque estos incrementos no siempre fueron significativos (Tabla 2). Hitsuda et al. (2005) reportaron incrementos en la concentración de S total en planta debido a la fertilización azufrada.

Índice de verdor (IV)

La aplicación de S tendió a aumentar la intensidad de color verde del cultivo, determinada a través del IV, aunque no siempre de manera significativa. Las variaciones en el IV a través de experimentos y momentos de determinación pueden explicarse por diferencias en las condiciones ambientales (principalmente temperatura y agua) y en los materiales genéticos utilizados. Estas variaciones pueden reducirse marcadamente al relativizar los valores de IV empleando el ISS de manera análoga a la propuesta originalmente para N por Blackmer y Schepers (1995). Además interacciones entre N y S pueden interferir con la respuesta en IV a la aplicación de S, sin embargo, Pagani et al. (2009b), trabajando en la misma región, no encontraron interacción N x S significativa en el cultivo de maíz.

Las mayores diferencias en IV entre tratamientos fueron encontradas cuando las determinaciones se realizaron en el estrato superior del canopeo, lo que coincide con la manifestación general de la deficiencia azufrada en el cultivo (Hitsuda et al., 2005), debido a la relativamente baja movilidad del S dentro de la planta. Estos resultados sugerirían que el IV determinado en el estrato superior del canopeo podría ser empleado como una herramienta de mayor sensibilidad para determinar el estatus azufrado del cultivo que la clásica metodología (estrato medio) propuesta para N por Blackmer y Schepers (1995).

Métodos de diagnóstico de S

a) Contenido de S como sulfato y materia orgánica en el suelo

La disponibilidad de S como sulfato a la siembra no fue un buen indicador de la respuesta a S (Figura 1), debido fundamentalmente a su reducida variabilidad (McLaren y Cameron, 2004) cuando se combinaron los datos de los cinco experimentos (de 30 a 40 kg S ha⁻¹). En algunos estudios se ha reportado la utilidad de la disponibilidad de

Tabla 2. Rendimiento en grano y concentración de N y S en planta entera en los momentos de V6, pre-floración, post-floración y madurez fisiológica para los cinco experimentos. Letras distintas representan diferencias significativas.

Experimento	Tratamiento	Rendimiento kg ha ⁻¹	Momento de muestreo									
			V6		Pre-floración		Post-floración		Madurez fisiológica			
			N, g kg ⁻¹	S, g kg ⁻¹	N, g kg ⁻¹	S, g kg ⁻¹	N, g kg ⁻¹	S, g kg ⁻¹	N, g kg ⁻¹	S, g kg ⁻¹	N, g kg ⁻¹	S, g kg ⁻¹
<Bcc I	SD 0 S	10 050	nd	nd	0.315	0.020	0.180	0.008	0.116	0.009	b	
	SD 15 S	10 670	nd	nd	0.326	0.020	0.169	0.010	0.110	0.010	a	
	LC 0 S	11 550	nd	nd	0.329	0.021	0.175	0.008	0.120	0.009	b	
	LC 15 S	12 210	nd	nd	0.325	0.022	0.180	0.009	0.126	0.012	a	
Bcc II	0 S	8480	b	0.232	0.015	b	0.205	0.016	0.109	b	0.114	0.009
	8 S	9380	a	0.242	0.016	ab	0.225	0.018	0.125	a	0.109	0.010
	16 S	9380	a	0.242	0.018	a	0.202	0.016	0.125	a	0.107	0.010
Bcc III	SD 0 S	10 170		0.356	0.021	b	0.353	0.024	0.142		0.135	0.010
	SD 15 S	10 190		0.364	0.025	a	0.332	0.020	0.198		0.138	0.011
	LC 0 S	8970	b	0.377	0.024		0.318	0.021	0.163		0.140	0.010
9dJ I	LC 15 S	10 060	a	0.376	0.025		0.307	0.021	0.159		0.138	0.011
	0 S	13 930	b	0.380	0.022		0.340	0.026	0.150		0.102	0.009
	8 S	14 730	ab	0.347	0.022		0.347	0.029	0.153		0.107	0.010
9dJ II	16 S	15 400	a	0.342	0.022		0.358	0.032	0.137		0.104	0.010
	0 S	9470	b	0.432	0.025		0.193	0.013	0.134		0.089	0.008
	5 S	9540	b	0.425	0.026		0.202	0.014	0.134		0.092	0.009
10 S	10 S	9850	b	0.398	0.029		0.199	0.013	0.146		0.097	0.009
	20 S	10 610	a	0.397	0.028		0.216	0.015	0.143		0.091	0.010

En cada columna y dentro de cada experimento/sistema de labranza, letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (P < 0.1). SD: Siembra directa; LC: Labranza convencional. Nd: No determinado.

S-SO₄⁻² como predictor de la respuesta a S (Bullock y Goodroad, 1989; Stecker et al., 1995), sin embargo en numerosos otros trabajos se ha concluido que esta variable no arroja buenos resultados al respecto (Scherer, 2009). La robustez de este método ha sido cuestionada debido a la gran magnitud de otras fuentes de S para el cultivo que no son cuantificadas (Hoeft et al., 1985).

El contenido de materia orgánica del suelo se desempeñó mejor como predictor de la respuesta a S (Figura 1). Si bien no se encontró una relación estadísticamente significativa entre ambas variables, los valores de alta respuesta a la fertilización azufrada correspondieron a bajos valores de MO y viceversa. Este resultado es esperado ya que la MO es la principal fuente de S para los cultivos en la mayoría de los suelos de la región pampeana (Echeverría, 2005). En línea con

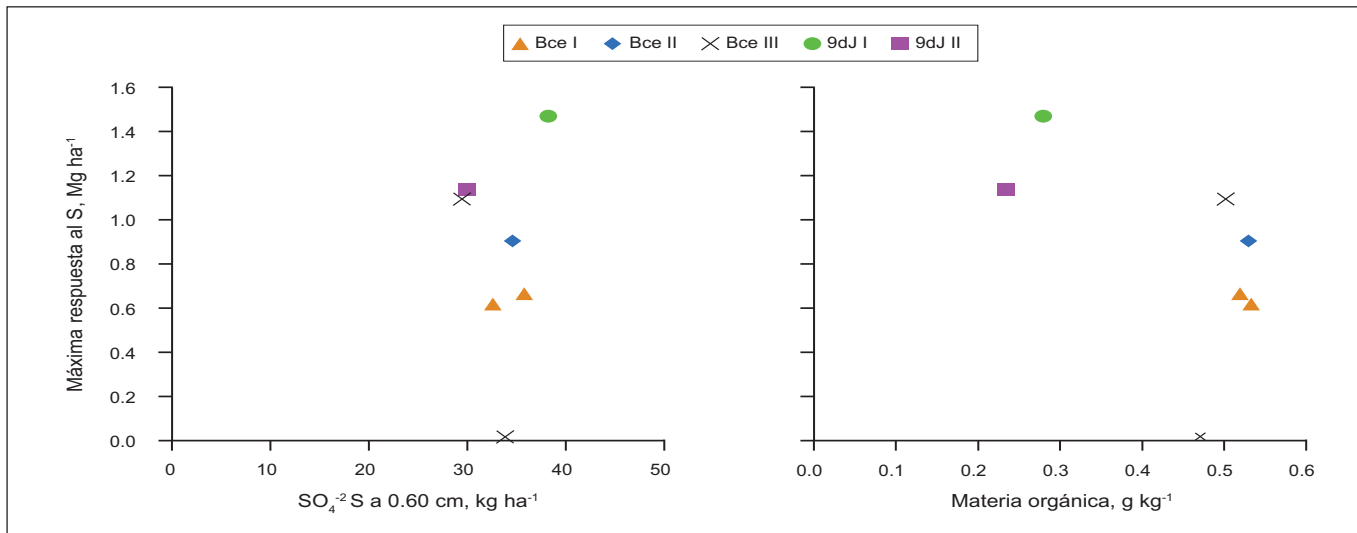


Figura 1. Máxima respuesta al agregado de azufre (S) en función del contenido de sulfatos y materia orgánica para los cinco experimentos conducidos en Balcarce y 9 de Julio.

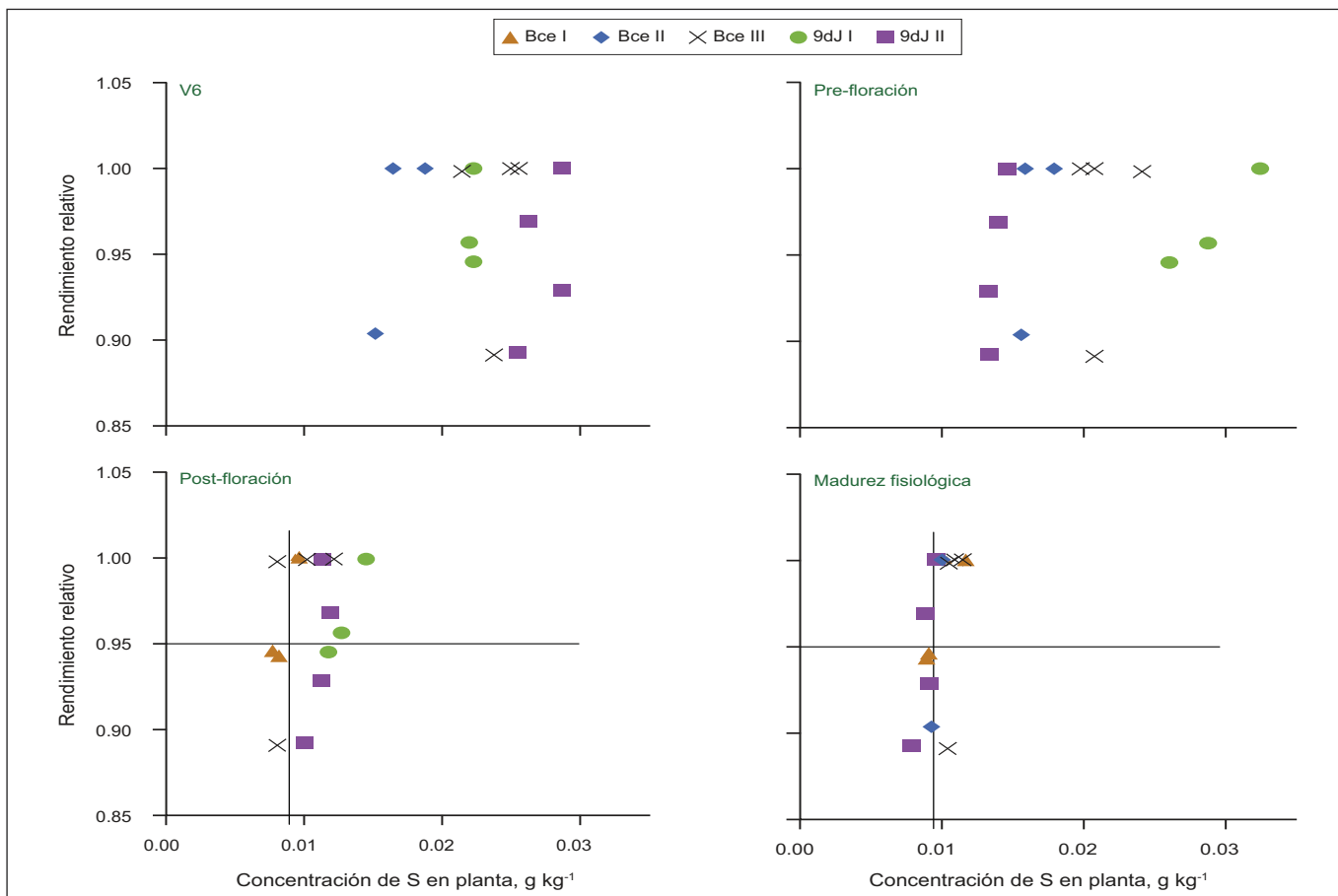


Figura 2. Rendimiento relativo (RR) en función de la concentración de azufre (S) en planta entera para diferentes momentos del ciclo del cultivo. Análisis combinando información de los cinco experimentos conducidos en Balcarce y 9 de Julio. (1 g kg⁻¹ = 1000 mg kg⁻¹ ó ppm).

lo anterior, Tabatabai y Bremner (1972) determinaron altas correlaciones entre disponibilidad de S para los cultivos y contenido de MO.

b) Concentración de S total en planta

La concentración de S en planta no se mostró como un buen indicador del estatus azufrado del cultivo en estadios tempranos de desarrollo (Figura 2). Rehm y Capp (2008) reportaron que debido a la variabilidad del contenido y formas de S en los tejidos de plantas jóvenes, la definición

de umbrales críticos es muy dificultosa. Sin embargo, en el estadio de post-floración, una menor dispersión de los valores fue encontrada y 78% de las muestras fueron correctamente caracterizadas considerando un rendimiento umbral de 95% y una concentración de S crítica 0.009 g kg^{-1} (0.09%) (Figura 2). En madurez fisiológica, una aún menor dispersión de los datos fue encontrada y 89% de las muestras fueron correctamente caracterizadas considerando un rendimiento umbral de 95% y una concentración de S crítica 0.0095 g kg^{-1} (0.095%) (Figura 2).

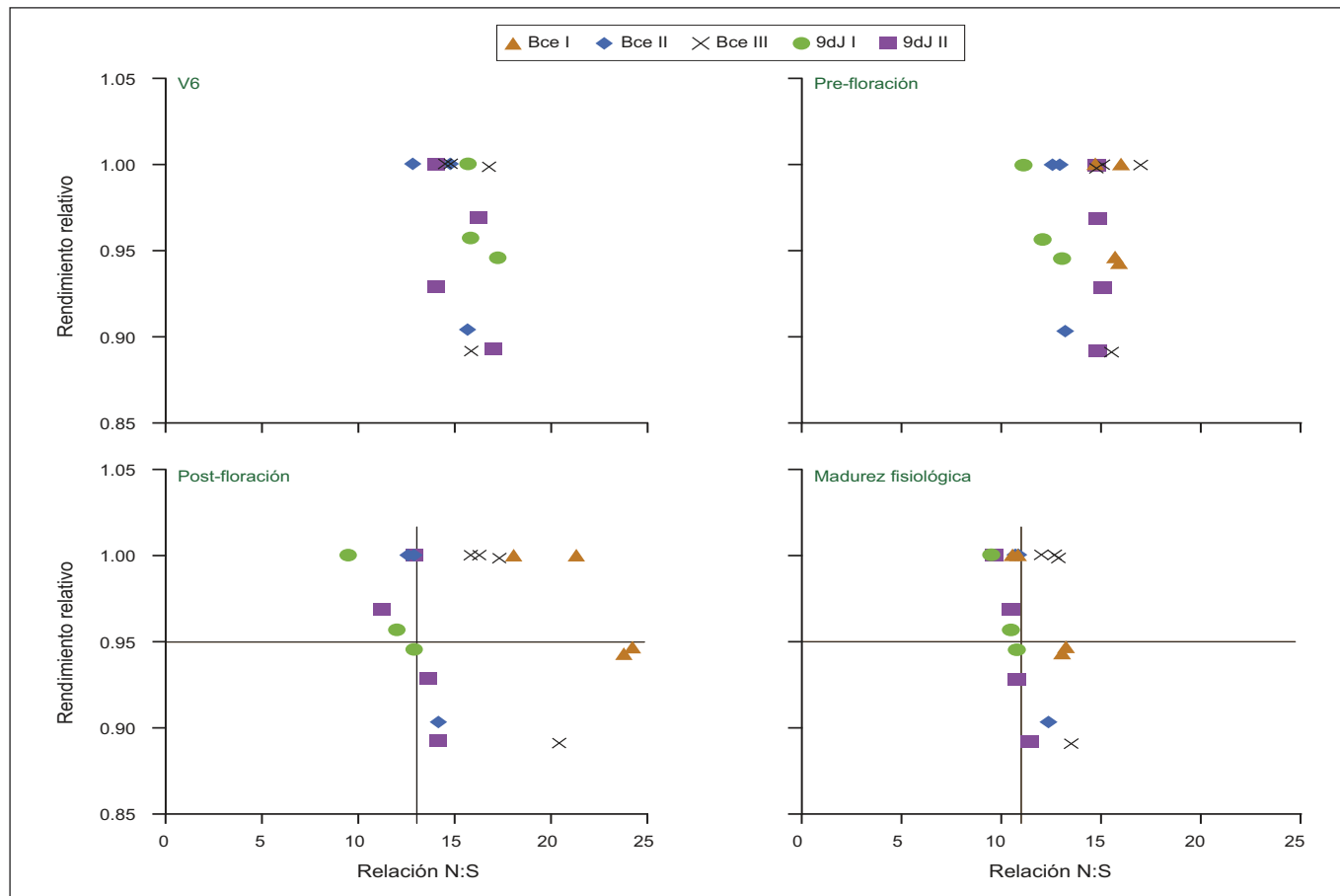


Figura 3. Rendimiento relativo (RR) en función de la relación nitrógeno:azufre (N:S) en planta entera para diferentes momentos del ciclo del cultivo. Análisis combinando información de los cinco experimentos conducidos en Balcarce y 9 de Julio.

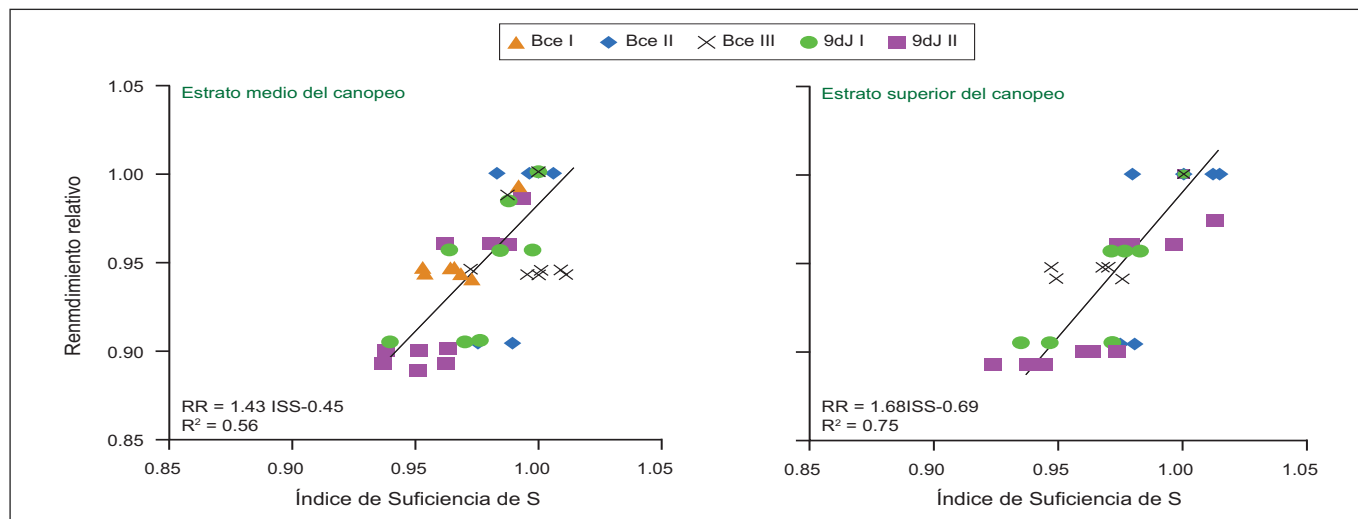


Figura 4. Rendimiento relativo (RR) en función del ISS determinado en dos estratos del canopeo durante el período V6-V14. Análisis combinando información de los cinco experimentos conducidos en Balcarce y 9 de Julio.

Jones y Eck (1973) sugirieron que el rango de concentración óptima de S para maíz es amplio (0.01-0.03 g kg⁻¹), pudiendo estar influenciado por varios factores como el material genético y las condiciones de crecimiento. Por su parte, Tandon (1984) propuso valores de suficiencia de concentración de S en hojas de 0.015 a 0.050 g kg⁻¹ en el momento de anthesis.

c) Relación N:S en planta

Cuando todos los factores de crecimiento excepto S se encuentran en óptimos niveles, la relación N:S crítica en planta ha sido propuesta como más estable entre órganos de la planta y estadíos fenológicos que la concentración de S (Jones et al., 1980). Por esta razón, Rasmussen et al. (1975) sugirieron que la relación N:S es mejor indicador del estatus azufrado del tejido vegetal que la concentración de S.

Como se observó con la concentración de S, la relación N:S en planta no contribuyó a caracterizar el estatus azufrado del cultivo en estadíos tempranos de desarrollo (**Figura 3**). En el estadio de post-floración, aun cuando la dispersión de los valores fue considerable, 67% de las muestras fueron correctamente caracterizadas considerando un rendimiento umbral de 95% y una relación N:S crítica de 13:1 (**Figura 3**). En madurez fisiológica, la relación N:S resultó un aceptable indicador del estatus azufrado del cultivo ya que 72% de las muestras fueron correctamente caracterizadas considerando un rendimiento umbral de 95% y una relación N:S crítica de 11:1 (**Figura 3**).

Algunos estudios en maíz y otros cultivos han reportado que valores de relación N:S > 16:1 indican insuficiente S para la formación de proteínas y la probable presencia de NO₃⁻, amidas o amino ácidos (Terman et al., 1973). Por su parte, Weil y Mughogho (2000) sugirieron que la relación N:S en la hoja de la espiga al estadio de panojamiento estuvo significativamente relacionada con la respuesta a S y determinaron un valor crítico de 10:1.

d) Índice de suficiencia de azufre (ISS) en ambos estratos del canopeo

Combinando datos de los cinco experimentos, se determinaron relaciones significativas ($P < 0.05$) entre el RR y el ISS en los estadíos de V6-V8, V9-V12, y V13-V14 ($R^2 = 0.62, 0.56, \text{ y } 0.43$, respectivamente, para el estrato medio y $R^2 = 0.56, 0.71, \text{ y } 0.81$, respectivamente, para el estrato superior) (datos no mostrados). Los resultados del test de coincidencia y paralelismo indicaron que las pendientes y ordenadas al origen de las relaciones entre RR e ISS no difirieron significativamente ($P > 0.1$) a través de los momentos de determinación (V6-V8, V9-V12 y V13-V14) para ambos estratos del canopeo. Por lo tanto, fue posible agrupar los valores para cada estrato durante el periodo

V6-V14, integrando la información de los cinco experimentos. De esta manera se obtuvieron relaciones significativas ($P > 0.01$) para ambos estratos del canopeo aunque con mejores ajustes para el estrato superior (**Figura 4**). Para ambos estratos, valores superiores a 0.98 de ISS permitirían lograr RR superiores a 0.95. Estos resultados sugieren que la determinación de la intensidad de color verde del cultivo (a través del ISS) en los estratos superiores del canopeo es una metodología promisoría para caracterizar el estatus azufrado del cultivo, tarea que hasta el momento ha sido de gran dificultad para investigadores y agrónomos. Esta nueva tecnología presenta las ventajas de ser rápida, no destructiva y relativamente sencilla, ya que solo requiere de la presencia de una franja dentro del lote con S no limitante para el cálculo del ISS.

Conclusiones

- Los indicadores de suelo (especialmente la disponibilidad de S-SO₄⁻²) no fueron adecuados predictores de la respuesta a S.
- Los indicadores de planta, como la concentración de S y la relación N:S, no deberían emplearse para determinar el estatus azufrado del cultivo en estadíos tempranos de desarrollo, pero pueden ser de utilidad en estadíos avanzados (especialmente en madurez fisiológica) lo que permitiría planear futuras fertilizaciones.
- Por su parte, la intensidad del color verde del cultivo podría tener un alto potencial (a través del ISS) como metodología de diagnóstico/caracterización del estatus azufrado del maíz, particularmente si las lecturas de IV se realizan en el estrato superior del canopeo. Futuras investigaciones serán necesarias para validar esta nueva metodología.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con fondos de los proyectos: Pict 2007-446, INTA PNCER 22421 y de la FCA-UNMP AGR319/10.

Bibliografía

- Blackmer, T.M., y J.S. Schepers. 1995. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *J. Prod. Agric.* 8:56-60.
- Bullock, D.G., y L.L. Goodroad. 1989. The effect of sulfur rate, application method, and source on corn yield and mineral content. *Comm. Soil. Sci. Plant Anal.* 20:1209-1217.
- Cate, R.B. Jr., y L.A. Nelson. 1965. A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. *North Carolina Agric. Exp. Stn., International soil Testing Series Bull.* No. 1.

- Echeverría, H.E. 2005. Azufre. pp. 139-160. En H.E. Echeverría and F.O. García (ed.) Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Ferraris, G.N., y L.A. Couretot. 2006. Evaluación de diferentes dosis y momentos de aplicación de nitrógeno y su interacción con el azufre utilizando fuentes líquidas en el Norte de la Provincia de Buenos Aires. pp. 70-73. En Maíz en siembra directa. Revista técnica de la Asociación de productores en siembra directa. Aug. 2006.
- Fontanetto, H., O. Keller, R. Inwinkelried, N. Citroni, y F.O. García. 2000. Phosphorus and sulfur fertilization of corn in the northern Pampas. Better Crops Plant Food. 14:1-5.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, y W.L. Nelson. 2005. Sulfur, calcium, and magnesium. pp. 219-243. En Havlin et al. (ed.) Soil fertility and fertilizers. Pearson Prentice Hall. New Jersey. 7th ed.
- Hitsuda, K., M. Yamada, y D. Klepker. 2005. Sulfur requirement of eight crops at early stages of growth. Agron. J. 97:155-159.
- Hoef, R.G., J.E. Sawyer, R.M. Vanden Heuvel, M.A. Schmitt, y G.S. Brinkman. 1985. Corn response to sulfur on Illinois soils. J. Fert. Issues. 2:95-104.
- Jones, J.B. Jr., y H. v. Eck. 1973. Plant analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum. pp. 349-364. En Soil Testing and Plant Analysis. L. M. Walsh and J. D. Beaton (eds.) Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.
- Jones, M.B., W.A. Ruckman, W.A. Williams, y R.L. Koenigs. 1980. Sulfur diagnostic criteria as affected by age and defoliation of subclover. Agron. J. 72:1043-1046.
- Kang, B.T., y O.A. Osiname. 1976. Sulfur response of maize in Western Nigeria. Agron J. 68:333-336.
- Khan, M.J., M.H. Khan, R.A. Khatkhat, y M.T. Jan. 2006. Response of maize to different levels of sulfur. Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 37:41-51.
- LECO. 2008. Organic application notes. Available at <http://www.leco.com> [accessed 18 Feb. 2008; verified 3 Feb. 2009]. LECO, St. Joseph, MI.
- Mallarino, A.P., D. Haden, y A. Christensen. 2000. Sulfur fertilization for corn. p. 19-21. En Northwest Res. Farm Annu. Prog. Rep. 1999, ISRF99-29, 31. Iowa State Univ., Ames, IA.
- McLaren, R.G., y K.C. Cameron. 2004. Soil Science. 2nd ed., Oxford University Press, Victoria, Australia.
- Pagani, A., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2009a. Nitrogen and sulfur response in corn at different environments of Buenos Aires Province. (In Spanish, with English abstract) Ci. Suelo (Argentina). 27(1):21-29.
- Pagani, A., H.E. Echeverría, F.H. Andrade, y H.R. Sainz Rozas. 2009b. Characterization of corn nitrogen status with a greenness index under different availability of sulfur. Agron. J. 101:315-322.
- Prystupa, P., F.H. Gutiérrez Boem, F. Salvagiotti, G. Ferraris, y L.A. Couretot. 2006. Measuring corn response to fertilization in the northern Pampas. Better Crops Plant Food. 90:25-27.
- Rasmussen, P.E., R.E. Ramig, R.R. Allmaras, y C.M. Smith. 1975. Nitrogen-sulfur relations in soft white winter wheat. II. Initial and residual effects of sulfur application on nutrient concentration, uptake, and N/S ratio. Agron. J. 67:224-228.
- Rehm, G.W., y J.G. Clapp. 2008. Sulfur in a fertilizer program for corn. pp. 143-152. En J. Jez (ed.) Sulfur, a missing link between soils, crops, and nutrition. Agronomy Monograph 50. ASA, CSSA, SSSA Madison, WI.
- Scherer, H.W. 2001. Sulphur in crop production. Eur. J. Agron. 14:81-111.
- Scherer, H.W. 2009. Sulfur in soils. J. Plant Nutr. Soil Sci. 172:326-335.
- Stecker, J.A., D.D. Buchholz, y P.W. Tracy. 1995. Fertilizer sulfur effects on corn yield and plant sulfur concentration. J. Prod. Agric. 8:61-65.
- Tabatabai, M. A., y J. M. Bremner. 1972. Forms of sulfur and carbon, nitrogen and sulfur relationships in Iowa soils. Soil Sci. 114:380-386.
- Tandon, H.L.S. 1984. Sulfur Research and Agriculture Production in India; Fertilizer Development and Consultation Organization: New Delhi, India, pp. 13-23.
- Terman, G.L., S.E. Allen, y P.M. Giordano. 1973. Dry matter yield-N and S concentration relationships and ratios in young corn plants. Agron. J. 65:633-641.
- Ventimiglia, L.A. 2005. Nutrición de cultivos en el centro de Buenos Aires. Nutrición, producción y ambiente. En Simposio Fertilidad 2005, Rosario (Santa Fe), Argentina. 27-28 Apr. 2005. INPOFOS y Fertilizar Asociación Civil Publ., Rosario (Santa Fe), Argentina.
- Weil, R.R., y S.K. Mughogho. 2000. Sulfur nutrition of maize in four regions of Malawi. Agron. J. 92:649-656. □

