

FERTILIZACIÓN CON AZUFRE EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) PARA LA INDUSTRIA EN EL SUDESTE BONAERENSE

CLAUDIA MARCELA GILETTO^{1*}, JUAN MÁXIMO MAGNONI¹ & HERNÁN EDUARDO ECHEVERRÍA²

Recibido: 20-12-11

Recibido con revisiones: 03-03-12

Aceptado: 03-04-12

EFFECT OF SULFUR FERTILIZATION ON POTATO FOR THE PROCESSING INDUSTRY IN SOUTHEASTERN BUENOS AIRES

ABSTRACT

In recent years, sulfur (S) requirements in potato crops have been increasing due to increasing yields. Soil organic matter contents have been decreasing in Southeastern Buenos Aires thereby limiting the capacity of the soils in this area to meet the higher requirements.

The aim of this study was to determine the effect of S fertilization on potato for the processing industry in southeastern Buenos Aires. Two experiments were carried out (Site 1 and 2) involving three different S rates: S0 (control), S10 (10 kg S ha⁻¹) and S20 (20 kg S ha⁻¹). Total dry matter and S accumulation in plant were not affected by S fertilization. The N:S ratio decreased during the growing season in both sites. This ratio was below the critical threshold of 15:1, which indicates that the crop was not S deficient. Yield, S concentration and N:S ratio in tubers were not affected by S fertilization in any site. The maximum amount of S accumulated in the tubers at harvest averaged 18.8 and 14.2 kg ha⁻¹ in Site 1 and 2, respectively. Based on the mass balance of S, the main destination of this nutrient in the soil-plant system was to form residual S. In potato, the contributions of S by the application of fungicide and water from irrigation were considerable, reaching values of 14 and 17 kg ha⁻¹, respectively. Therefore, it is highly recommended to determine the contributions of these two sources of S in order to develop strategies for S fertilization on potato.

Key words. Processing industry, potato, production of biomass, N and S concentration, S mass balance.

RESUMEN

Los incrementos en los rendimientos de los últimos años aumentaron la demanda de azufre (S) en papa y los niveles de materia orgánica en el suelo han bajado. Estos factores podrían favorecer la aparición de deficiencias de S. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar la incidencia de la fertilización con S en papa para la industria en el sudeste bonaerense. Se realizaron dos ensayos (Sitio 1 y 2) con tres dosis de S: S0 (testigo); S10 (10 kg S ha⁻¹) y S20 (20 kg S ha⁻¹). La producción de materia seca total y la cantidad de S acumulado en planta no fueron afectadas por la aplicación de S. La relación N:S total disminuyó a lo largo del ciclo de cultivo en ambos sitios y fue inferior al umbral crítico de 15:1 e indicó que el cultivo no presentó deficiencias de S. El rendimiento, la concentración de S y la relación N:S en los tubérculos no fueron afectados por el agregado de S en ningún sitio. La cantidad máxima de S acumulado en los tubérculos a cosecha fue en promedio de 18,8 y 14,2 kg ha⁻¹ en el Sitio 1 y 2; respectivamente, mientras que los aportes de S por la aplicación de funguicida y del agua de riego alcanzaron valores de 14 y 17 kg ha⁻¹, respectivamente. A partir del balance de masa de S se determinó que el S residual fue el principal destino del nutriente en el sistema suelo-planta. Se recomienda conocer los aportes de S en los funguicidas y en el agua de riego al diseñar un plan de fertilización con S en papa.

Palabras clave. Papa para industria, producción de biomasa, concentración de N y S en planta, balance de masa de S.

1 FCA-UNMP (Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Mar del Plata).

2 INTA Balcarce (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) - FCA UNMP. Ruta 226, km 73,5 CC 276. CP 7620.

* Autor para correspondencia: cmgiletto@balcarce.inta.gov.ar

INTRODUCCION

El azufre (S) es un nutriente esencial para los vegetales, no obstante durante mucho tiempo no recibió considerable atención debido a que los cultivos no manifestaban respuesta a su adición (Echeverría, 2005a). Sin embargo, en los últimos años se han observado respuestas a la fertilización con S en numerosos cultivos (maíz, soja, trigo, canola, alfalfa, pasturas) en la Región Pampeana. Las respuestas a S fueron detectadas en suelos degradados por muchos años de agricultura continua y con cultivos de alta producción (García, 2008).

El S es normalmente absorbido por las raíces y transportado dentro de la planta en forma de ión sulfato (SO_4^{-2}) y posteriormente es reducido e incorporado como grupo sulfhídrico (SH) dentro de los componentes orgánicos. El sulfato disponible en el suelo además, puede ser reducido a S elemental o sulfuro en condiciones de anegamiento, precipitar como sales en zonas áridas y semiáridas y lavado en profundidad cuando las precipitaciones son elevadas. Los gases de S generados durante la descomposición microbiana en suelos anaeróbicos pueden ser adsorbidos por los coloides del suelo o escaparse a la atmósfera (Echeverría, 2005a). Probablemente, en papa bajo riego, las pérdidas gaseosas sean prácticamente irrelevantes y el lavado de SO_4^{-2} sea el mecanismo de pérdida más destacado; no existiendo referencias en este cultivo que estimen la magnitud de la misma.

Los métodos de diagnóstico que determinan el contenido de S en muestras de suelo se basan en extraer y cuantificar el SO_4^{-2} . Sin embargo, éstos tienen la dificultad de ser poco precisos y requieren equipos de elevado costo (Reussi Calvo *et al.*, 2006). En función de estos inconvenientes, los análisis de material vegetal surgen como una alternativa para el diagnóstico de S ya que integra los efectos de suelo, clima y planta (Echeverría, 2005a). En papa, para la etapa de llenado de tubérculos, la concentración umbral de S en la primera hoja totalmente expandida del tallo principal es de $2,0 \text{ g S kg}^{-1}$ (Westermann, 1993). Por otro lado, la determinación de la relación N:S sería un buen estimador del estatus azufrado del cultivo, debido a la mayor estabilidad en los valores críticos durante el ciclo de crecimiento, respecto a sus valores absolutos (Maynard *et al.*, 1983). En papa, Westermann (1993) propuso que el N y el S deben tener una relación inferior a 15:1 para que el cultivo no presente deficiencias en la etapa de llenado de tubérculos. En el sudeste bonaerense, no existen referencias de la evolución de la concentración de S en hoja

y de la relación N:S durante el ciclo del cultivo como estimadores del estado nutricional.

Echeverría (2005b) indicó que las deficiencias de S en papa se presentan en suelos arenosos y con bajo contenido de MO y que son considerables los aportes de S de los funguicidas. Por otro lado, Caldiz (2006) en las últimas campañas ha detectado en algunos suelos niveles insuficientes de S. Probablemente, los incrementos en los rendimientos de los últimos años generaron aumentos en la demanda de S por el cultivo de papa; que junto con la disminución en los contenidos de MO del suelo (Sainz Rozas *et al.*, 2011), podrían favorecer la aparición de síntomas de deficiencias de S. Sobre la base de estos antecedentes sería de utilidad estudiar la incidencia de la fertilización con S en el cultivo de papa para industria en el sudeste bonaerense. Por lo que, se plantearon los siguientes objetivos: 1- Determinar la evolución durante el ciclo del cultivo de la materia seca, concentración de S y cantidad de S total acumulado en planta; 2- Establecer la relación N:S total en planta en las diferentes etapas del ciclo del cultivo; 3- Determinar el rendimiento y la relación N:S total en tubérculos a la cosecha, y 4- Cuantificar la entrada y salida de S del sistema en papa bajo riego utilizando el balance de masa de S.

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron dos ensayos en lotes de producción (Sitio 1 y Sitio 2) durante la campaña 2008-2009 en el partido de Balcarce ($37^{\circ}45' \text{ S}$; $58^{\circ}18' \text{ W}$, 130 m snm), provincia de Buenos Aires. El suelo de ambos sitios pertenece al subgrupo Argiudol típico (USDA soil classification), sin limitaciones en su capacidad de uso. La preparación del suelo, previo a la plantación, se realizó utilizando cincel, rastra de discos y vibrocultivador. La plantación se realizó con una plantadora de cangilones de 4 surcos separados a 0,80 m. Se utilizó la variedad Innovator (110-120 días de ciclo) (Caldiz, 2004). Antes de que el cultivo alcance el 100% de cobertura se levantó el surco con aporcadore. En la Tabla 1 se resumen algunas características del suelo al momento de la plantación y de manejo del cultivo durante el ciclo. El N mineralizado fue estimado según la metodología propuesta por Echeverría & Bergonzi, (1995) y Echeverría & Sainz Rozas (2005). El S mineralizado se estimó a partir del N mineralizado, considerando una relación N:S en el suelo de 12:1 (Echeverría, 2005a).

Se empleó en cada sitio un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos de S fueron: S0 (testigo), S10 (10 kg S ha^{-1}) y S20 (20 kg S ha^{-1}) y se

Tabla 1. Características del suelo previo a la plantación y del manejo del cultivo papa en dos sitios del Sudeste de Buenos Aires.
Table 1. Soil characteristics before planting and crop management at two sites in southeastern Buenos Aires.

Información suelo	SITIO 1	SITIO 2
Materia orgánica (g/100g ⁻¹) ¹	5,2 ± 0,8	5,2 ± 0,6
pH (agua) ²	5,8 ± 0,01	5,8 ± 0,05
P (mg kg ⁻¹) (0-20 cm) ³	14,5 ± 1,7	15,4 ± 1,6
N- NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹) (0-40 cm) ⁴	47,9 ± 6,8	49,9 ± 1,3
S-SO ₄ ⁻² (kg ha ⁻¹) (0-40 cm)	22,7 7,5	24,0 ± 5,5
N mineralizado (kg ha ⁻¹)	156	191
S mineralizado (kg ha ⁻¹)	13	16
Lluvia + Riego (mm)	678	688
Fecha de plantación	24/10/08	05/11/08
Fecha de cosecha	24/02/09	11/03/09
Rotación de cultivos	Papa, maíz, soja, avena/maíz	15 años de pastura

¹Walkley and Black (1934); ² relación suelo: agua 1:2.5; ³ Bray and Kurtz (1945); ⁴Bremner (1965) y Keeney (1982).

¹Walkley and Black (1934); ² soil: water relationship 1:2.5; ³ Bray and Kurtz (1945); ⁴Bremner (1965) y Keeney (1982).

utilizó como fertilizante sulfato de calcio (17% de S). Cada unidad experimental tuvo una superficie de 48 m². Se aplicó 300 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico (18-46-0) a la plantación junto al tubérculo semilla, de manera que el P y N no fueran limitantes. El control de plagas y enfermedades en los sitios se realizó mediante la aplicación de agroquímicos específicos.

Para suplir las necesidades hídricas del cultivo se utilizó riego por aspersión. En el Sitio 1 se utilizó a partir de los 30 DDP riego por avance frontal (Side Roll) con una lámina de 40 mm por pasada y en todo el ciclo del cultivo se realizaron 11 pasadas, aportando un total de 440 mm. En el Sitio 2 se utilizó, a partir de los 47 días después de plantación (DDP), un cañón con una lámina de 25 mm por pasada y en todo el ciclo del cultivo se realizaron 18 pasadas, aportando un total de 450 mm de agua. El cultivo se regó cuando el contenido de humedad del suelo estuvo por debajo del 65% de agua disponible. Se realizó el balance de agua utilizando la metodología propuesta por Dellamagiora *et al.* (2003), suponiendo 40 cm de profundidad, 15 mm de agua útil cada 10 cm y el suelo a capacidad de campo. La humedad del suelo en capacidad de campo fue de 120 mm y el punto de marchitez permanente fue de 60 mm. Se utilizó la evapotranspiración potencial (ETP) (Penman 1948) obtenida de la estación agrometeorológica del INTA Balcarce. El coeficiente de cultivo (Kc) para papa en el SE de la provincia de Buenos Aires fue reportado por Dellamagiora *et al.* (1998). La evapotranspiración real (ETR) del cultivo fue determinada como el producto entre el ETP y el Kc.

Se realizaron 3 muestreos de plantas a los 53, 59 y 88 DDP en el Sitio 1 y a los 47, 64 y 89 DDP en el Sitio 2. Los momentos de los muestreos corresponden a los estados fenológicos de crecimiento vegetativo, inicio de tuberización y llenado de tubérculos, respectivamente. En cada uno de ellos se cosechó

la biomasa total de 1 m lineal de un surco por unidad experimental. Cada muestra se separó en tubérculos y parte aérea, se pesó en fresco y seco, luego de llevarse a estufa a 60° hasta peso constante. Posteriormente las muestras fueron molidas y tamizada (0,84 mm de malla). Se determinó N y S en cada fracción por combustión seca empleando el analizador LECO TruSpec CNS (LECO, 2009).

A la madurez del cultivo, 120 y 126 DDP para el Sitio 1 y 2, respectivamente, se cosechó en forma manual un metro lineal de los dos surcos centrales de cada parcela y se realizaron estimaciones de rendimiento de tubérculo. Se determinó el N y S en los tubérculos por el método descripto para planta. Además, para cada tratamiento, se tomaron muestras de suelo hasta 40 cm de profundidad y se determinó la cantidad de S-SO₄⁻² residual.

Se cuantificaron las distintas fracciones de S que entran y salen del sistema utilizando el balance de masas de S en forma análoga al empleado para N por Errebhi *et al.* (1998). Considerando que en todos los tratamientos:

$$S_{\text{entrada}} = S_{\text{salida}}$$

$$S_{\text{entrada}} = S_{\text{salida}} + S_{\text{F}} + S_{\text{min}} + S_{\text{riego}} + S_{\text{fung}}$$

$$S_{\text{salida}} = S_{\text{tub}} + S_{\text{rpl}} + S_{\text{lavado}} + S_{\text{gaseoso}} + S_{\text{residual}}$$

donde el S_{tub} = S acumulado en los tubérculos; $S_{\text{fresidual}}$ = S en los primeros 40 cm del suelo a la cosecha; S_{lavado} = pérdida de S por lavado de sulfato; S_{gaseoso} = pérdidas gaseosas de S, las mismas fueron consideradas despreciables; S_{inicial} = S inicial en los primeros 40 cm del suelo; S_{F} = S en el fertilizante; S_{min} = S proveniente de la mineralización de la MO del suelo; S_{rpl} = S acumulado en la fracción aérea de la planta; S_{riego} = aporte de S por el riego; S_{fung} = aporte de S por los fungicidas.

En el sudeste bonaerense, la concentración de SO_4^{-2} en el agua de riego en algunos casos es de aproximadamente 12 mg L^{-1} (Ing. Agr. Berardo, comunicación personal). Se determinó la cantidad de S que aportó el agua de riego, teniendo en cuenta la cantidad de agua que recibió el cultivo (440 y 450 mm para el sitio 1 y 2, respectivamente) y la concentración de S en el agua, siendo de 17 kg S ha^{-1} . En el sudeste bonaerense, la fuente de agua más comúnmente utilizada para el riego es de origen subterráneo y sus características generales son pH: 7,9; conductividad eléctrica (CE): $1,1 \text{ dS m}^{-1}$; adsorción de sodios (RAS): 20,1; concentraciones de HCO_3^{-1} : $9,1 \text{ mmol}_{(c)} \text{ L}^{-1}$; Cl^{-1} : $1,9 \text{ mmol}_{(c)} \text{ L}^{-1}$; Ca^{+2} : $0,3 \text{ mmol}_{(c)} \text{ L}^{-1}$; Mg^{+2} : $0,3 \text{ mmol}_{(c)} \text{ L}^{-1}$; Na^{+1} : $11,0 \text{ mmol}_{(c)} \text{ L}^{-1}$; K^{+1} : $0,2 \text{ mmol}_{(c)} \text{ L}^{-1}$ (Paz *et al.*, 2006). El S proveniente del funguicida se determinó considerando que la concentración de S en Mancoceb fue de 30,8% Smiley y Craven (1978). En cada sitio, se aplicaron 36 kg ha^{-1} de Mancoceb durante el ciclo del cultivo, lo que equivale a 14 kg S ha^{-1} en cada sitio.

Los resultados fueron analizados utilizando el programa Statistical Analysis Systems (SAS) (SAS, Institute, 2001). Las medias de cada tratamiento se compararon mediante la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) ($p < 0,05$) cuando el ANOVA fue significativo. Se determinó la cantidad de N y S acumulado en cada fracción de la planta como el producto de la concentración de N y S, y la producción de materia seca (MS) de cada fracción. La cantidad de N y S total acumulado en planta se determinó como la suma de la cantidad de N y S acumulado en la parte aérea y en tubérculos. Para determinar la concentración de N y S total en planta, ponderando biomasa aérea y tubérculos, se utilizaron los datos de la cantidad de N y S total acumulado y la producción de materia seca total (MST). El S en el resto de la planta (Srpl) fue esti-

mado por diferencia entre el S total máximo acumulado en planta a los 88-89 días después de plantación (DDP) y el S acumulado en los tubérculos a la cosecha.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las temperaturas medias mensuales y la radiación total incidente promedio durante el ciclo del cultivo y los promedios históricos 1998-2007 se muestran en la Figura 1. La temperatura media fue en promedio $1,8 \text{ }^\circ\text{C}$ superior al promedio histórico. Durante el ciclo del cultivo la temperatura varió entre $13,8$ a $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$, ubicándose dentro del rango óptimo para el crecimiento del cultivo (Pereira & Shock, 2006). La radiación total incidente durante el ciclo también fue en promedio $1,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ superior respecto a los valores históricos.

En el Sitio 1 la cantidad de agua que recibió el cultivo estuvo por encima del umbral fisiológico (UF) (Caldiz, 2006) a lo largo del ciclo. Mientras que, en el Sitio 2 la cantidad de agua que recibió el cultivo en la etapa de inicio de tuberización (período crítico) estuvo cerca del punto de marchitez permanente y por debajo del UF (Fig. 2). Para el cultivo de papa el UF es el 50% del agua disponible, si la humedad del suelo está por debajo de este umbral disminuye el rendimiento. La deficiencia de agua durante el período crítico pudo afectar el número de estolones y tubérculos (Caldiz, 2006). En la etapa de llenado se registró un exceso de 90 mm de agua, debido a que se produjo un evento de lluvia luego de haber regado.

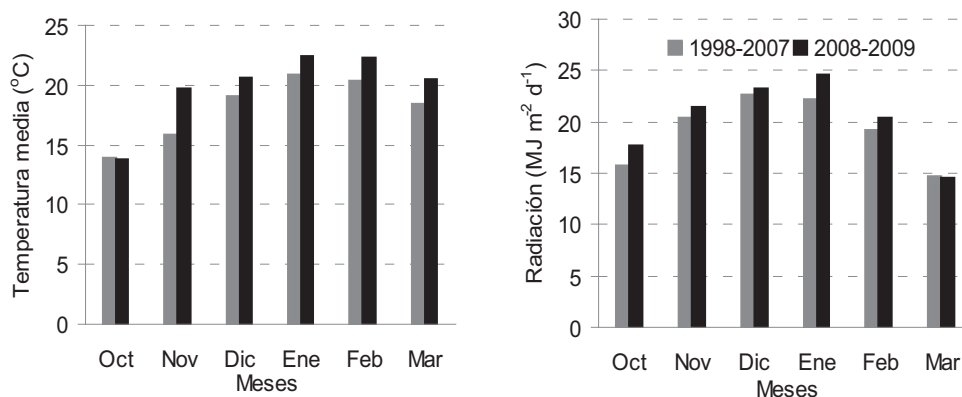


Figura 1. Evolución durante el ciclo del cultivo de la temperatura media y de la radiación total incidente durante los meses de octubre a marzo de la campaña 2008/09 y de las correspondientes promedios históricos del período 1998/07. Los datos fueron obtenidos de la estación agrometeorológica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Balcarce.

Figure 1. Average temperature and total incident radiation during the 2008/09 crop cycle and the corresponding historical averages for the period between 1998 and 2007. The data was obtained from the agrometeorological station of the Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) in Balcarce.

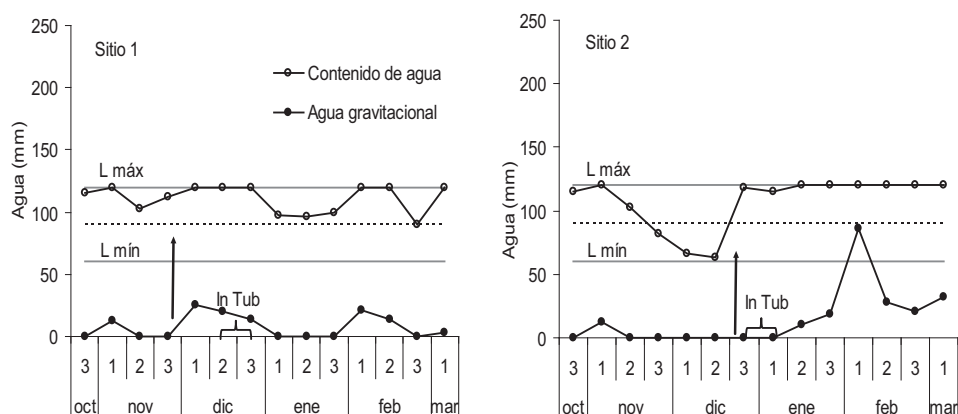


Figura 2: Balance decádico de agua para el cultivo de papa desde octubre de 2008 a marzo de 2009, calculado a partir de la metodología propuesta por Dellamaggiore *et al.* (2008). L máx (120 mm): máxima cantidad de agua que el suelo puede retener, L mín (60 mm): contenido de agua del suelo a punto de marchitez permanente. 1 = 1-10 días, 2 = 11-20 días y 3 = 21- 30/31 días. La flecha indica inicio del riego. La llave indica inicio de tuberización (In tub). Línea punteada indica el umbral fisiológico del cultivo al 50 % del agua útil (Caldiz, 2006).

Figure 2. Decadic water balance for the potato crop from October 2008 to March 2009, calculated from the methodology proposed by Dellamaggiore *et al.* (2008). L máx (120 mm): maximum water holding capacity, L mín (60 mm): water content at wilting point. 1 = 1-10 days, 2 = 11-20 days and 3 = 21- 30/31 days. The arrow indicates the beginning of irrigation. The key indicates the beginning of tuberization (In tub.). The dashed line indicates the physiological threshold of the crop at 50 % of the water holding capacity. (Caldiz, 2006).

La producción de materia seca total (MST) no varió significativamente ($p > 0,05$) por efecto de la fertilización con S en las tres fechas de muestreo de ambos sitios (Tabla 2). Estos resultados coincidieron con los determinados por Pasqualini (1999) en las variedades Kennebec y Spunta.

La concentración de N y S total disminuyó a lo largo del ciclo de cultivo (Fig. 3). La concentración de ambos

nutrientes disminuyó como resultado del envejecimiento de las plantas y la fenología (Lemaire *et al.*, 2008; Reussi Calvo, 2009). Tanto la concentración de N como la de S total, durante el ciclo del cultivo, no fue afectada significativamente por la aplicación de S (Fig. 3). La concentración de N varió entre 21-56 g kg^{-1} , y la de S entre 2,1-4,6 g kg^{-1} . En papa, la concentración de N en plantas jó-

Tabla 2. Producción de materia seca total (MST) para cada sitio, tratamiento de S y fecha de muestreo.

Table 2. Total dry matter production (MST) for each site, S treatment and sampling moment.

		Sitio 1			Sitio 2		
		53	59	88	47	64	89
		----- DDP -----					
MST (g m ⁻²)	S0	176	277	1168	219	408	1218
	S10	223	231	1241	222	472	1586
	S20	205	201	1107	117	453	1481
ANOVA	Valor p ¹	0,73	0,62	0,88	0,16	0,81	0,50
	R ²	0,10	0,15	0,04	0,45	0,07	0,21
	CV	35,6	39,1	28,2	35,2	27,2	26,0
	DMS	143,3	184,6	659,9	130,9	241,4	742,5

¹significativo si $p < 0,05$. S0: Testigo; S10: 10 kg S ha^{-1} y S20: 20 kg S ha^{-1} . DDP: días después de plantación. CV: coeficiente de variación; DMS: diferencias mínimas significativas.

¹significant at $\alpha = 0,05$. S0: Control; S10: 10 kg S ha^{-1} and S20: 20 kg S ha^{-1} . DDP: days after planting. CV: coefficient of variation; DMS: minimum significant difference.

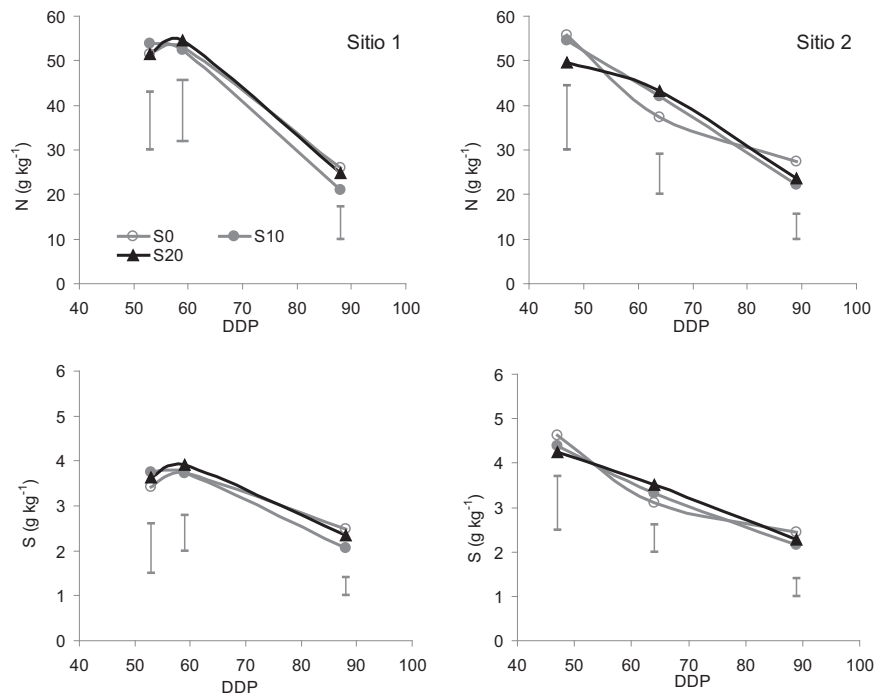


Figura 3. Evolución de la concentración de N y S total para cada sitio y tratamiento de S. S0: Testigo; S10: 10 kg S ha⁻¹ y S20: 20 kg S ha⁻¹. DDP: días después de plantación. Las barras indican las diferencias mínimas significativas entre tratamientos en cada fecha de muestreo; según test de DMS ($p < 0,05$).

Figure 3. N and S as a function of the days after planting (DDP) for each site and treatment. Control; S10: 10 kg S ha⁻¹ and S20: 20 kg S ha⁻¹. The vertical bars indicate the minimum significant differences among treatments for each sampling date, according to the LSD test ($\alpha = 0,05$).

venes puede superar el 50 g kg⁻¹. A medida que la planta crece, el N declina alcanzando a la madurez valores ≤ 15 g kg⁻¹ (Vos & Mackerron, 2000). Los valores de concentración de N determinados fueron similares a los de referencia, indicando que la disponibilidad de N no limitó el crecimiento del cultivo. La concentración de S en todos los tratamientos, estuvo por encima del umbral propuesto por Westermann (1993) para la etapa de llenado de tubérculos. En la Figura 3 se puede apreciar una pendiente diferente en la dilución de ambos nutrientes, sugiriendo una menor dilución del S respecto al N en planta; lo cual coincide con los resultados determinados en trigo por Reussi Calvo (2009).

La relación N:S total disminuyó a lo largo del ciclo de cultivo en ambos sitios (Fig. 4); coincidiendo con lo determinado en otros cultivos (Blake Kalf *et al.*, 2000; Thomas *et al.*, 2003). En general, la relación N:S estuvo por debajo del umbral crítico de 15:1 para papa (Westermann 1993), lo cual sugiere suficiencia de S. En las dos primeras fechas de muestreo la relación N:S fue mayor en el Sitio 1 y menor

en el Sitio 2. Esto se debió a una menor concentración de S en planta, ya que no se determinaron diferencias en la concentración de N en planta entre sitios (Fig. 4). La menor concentración de S en planta determinada en el Sitio 1 con respecto al Sitio 2, podría ser explicada por la historia previa a la plantación del cultivo (Tabla 1). Echeverría *et al.* (1996) determinaron en el sudeste bonaerense que la mineralización del S a partir de la MO es mayor en suelos que provienen de pastura y menor en suelo que provienen de manejo agrícola (Echeverría, 2005a).

La cantidad de S total acumulado en planta (ST) no varió ($p > 0,05$) por efecto de la fertilización con S en las tres fechas y en ambos sitios (Tabla 3). La cantidad máxima de ST promedio fue de 26,2 y 32,4 kg ha⁻¹ en el Sitio 1 y 2, respectivamente. El mayor ST se determinó en el Sitio 2, debido a la combinación de la mayor producción de MST y concentración de S en planta.

Los rendimientos, las concentraciones de S y N en los tubérculos y las relaciones N:S en los mismos no variaron ($p > 0,05$) por efecto de la fertilización con S en ambos sitios

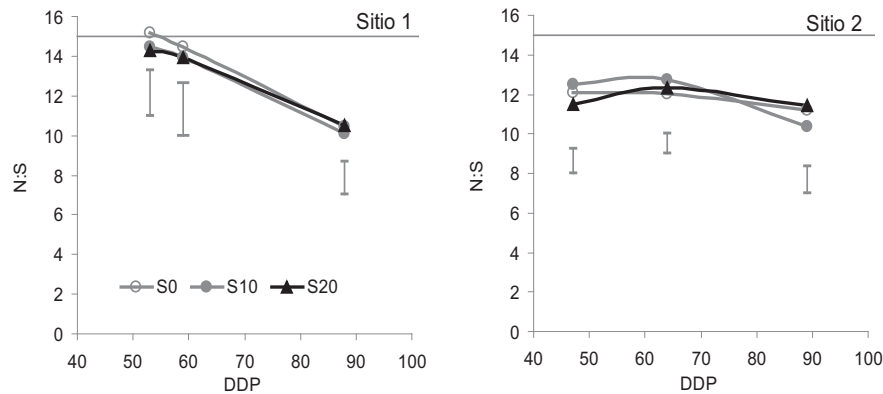


Figura 4. Evolución de la relación N:S total, para cada sitio y tratamiento de S. S0: Testigo; S10: 10 kg S ha⁻¹ y S20: 20 kg S ha⁻¹. UC: umbral crítico 15:1. DDP: días después de plantación. Las barras indican las diferencias mínimas significativas entre tratamientos en cada fecha de muestreo, según test de DMS ($p < 0,05$).

Figure 4. N:S ratio as a function of the days after planting (DDP) for each site and treatment. Control; S10: 10 kg S ha⁻¹ and S20: 20 kg S ha⁻¹. The vertical bars indicate the minimum significant differences among treatments for each sampling date, according to the LSD test ($\alpha = 0,05$).

(Tabla 4). Las relaciones N:S promedios fueron de 9,8:1 y de 11,5:1 para el Sitio 1 y 2, respectivamente. Según Echeverría (2005b) para alcanzar un rendimiento de 50 Mg ha⁻¹, los tubérculos exportan aproximadamente 150 kg N ha⁻¹ y 12 kg S ha⁻¹; sugiriendo una relación N:S en los tubérculos de 12,5:1, valor superior al determinado para ambos sitios. Estos resultados indican que el suministro de S fue adecuado para satisfacer la demanda del cultivo de papa aún en el tratamiento testigo (S0), lo cual justifica la falta de respuesta al agrado de dicho nutriente. La

cantidad de S acumulado en los tubérculos a cosecha fue levemente superior a los rangos citados por Echeverría (2005b) en papa (Tabla 5).

El S-SO₄⁻² residual en el suelo al final del ciclo fue elevada en todos los tratamientos y no variaron ($p > 0,05$) por efecto de la fertilización con S en ambos sitios, superando considerablemente a los 23 y 24 kg ha⁻¹ de S-SO₄⁻² que había inicialmente en el Sitio 1 y 2, respectivamente (Tabla 5).

La cantidad de S que entró al sistema (Tabla 6) dependió, además del aporte del S del suelo y del fertilizante, de

Tabla 3. S total acumulado en planta (ST) para cada sitio, tratamiento de S y fecha de muestreo.

Table 3. Total S accumulated in plant (ST) at each site and for each treatment and sampling moment.

		Sitio 1			Sitio 2		
		53	59	88	47	64	89
		----- DDP -----					
MST	S0	176	277	1168	219	408	1218
ST	S0	5,9	8,7	28,8	9,9	12,9	29,4
(kg ha ⁻¹)	S10	7,9	8,4	25,1	9,8	15,8	34,0
	S20	7,4	7,7	24,5	8,6	15,7	33,9
ANOVA	Valor p ¹	0,39	0,79	0,70	0,74	0,66	0,77
	R ²	0,27	0,08	0,11	0,10	0,13	0,08
	CV	24,2	33,5	26,1	24,3	29,2	26,7
	DMS	3,4	5,1	22,8	4,6	8,6	17,3

¹significativo si $p < 0,05$. S0: Testigo; S10: 10 kg S ha⁻¹ y S20: 20 kg S ha⁻¹. DDP: días después de plantación. CV: coeficiente de variación; DMS: diferencias mínimas significativas.

¹significant at $\alpha = 0,05$. S0: Control; S10: 10 kg S ha⁻¹ and S20: 20 kg S ha⁻¹. DDP: days after planting. CV: coefficient of variation; DMS: minimum significant difference.

Tabla 4. Rendimiento de papa, concentración de S y N en tubérculos y relación N:S para cada tratamiento y sitio.
Table 4. Potato yield, S and N concentration in tubers and N:S ratio for each treatment and site.

	Tratamiento	Rendimiento (Mg ha ⁻¹)	S tubérculos (g 100g ⁻¹)	N tubérculos (g 100g ⁻¹)	N:S
Sitio 1	S0	63,1	0,15	1,52	10,0
	S10	56,9	0,16	1,62	10,4
	S20	67,9	0,15	1,36	9,1
ANOVA	Valor p ¹	0,19	0,97	0,32	0,29
	R ²	0,42	0,10	0,62	0,65
	CV	10,4	10,4	10,4	8,03
	DMS	13,0	0,04	0,35	1,79
Sitio 2	S0	51,2	0,16	1,85	11,4
	S10	51,3	0,15	1,65	11,4
	S20	46,5	0,16	1,81	11,6
ANOVA	Valor p ¹	0,90	0,10	0,08	0,99
	R ²	0,03	0,80	0,82	0,04
	CV	29,1	4,6	4,1	7,6
	DMS	28,8	0,06	0,16	1,96

¹significativo si $p < 0,05$. S0: Testigo; S10: 10 kg S ha⁻¹ y S20: 20 kg S ha⁻¹. DDP: días después de plantación. CV: coeficiente de variación; DMS: diferencias mínimas significativas.

¹significant at $\alpha = 0,05$. S0: Control; S10: 10 kg S ha⁻¹ and S20: 20 kg S ha⁻¹. DDP: days after planting. CV: coefficient of variation; DMS: minimum significant difference.

Tabla 5. Cantidad de S acumulado en los tubérculos (Stu) y en el resto de la planta (Srpl), y sulfato residual en el suelo (0-40 cm) a la cosecha en cada tratamiento y sitio.

Table 5. Cumulated S in tubers (Stu) and rest of the plant, and residual sulphate in soil (0-40 cm) at harvest in each treatment and site.

	Tratamiento	Stu	Srpl ¹	S-SO ₄ ⁻² residual
----- (kg ha ⁻¹) -----				
Sitio 1	S0	19,2	9,6	32,6
	S10	17,4	7,7	32,7
	S20	19,8	4,7	31,7
ANOVA	Valor p ¹	0,92	-	0,96
	R ²	0,17	-	0,04
	CV	19,2	-	14,5
	DMS	8,2	-	10,6
Sitio 2	S0	15,9	13,5	49,7
	S10	14,0	20,0	41,0
	S20	12,7	21,2	45,0
ANOVA	Valor p ¹	0,86	-	0,39
	R ²	0,24	-	0,38
	CV	35,5	-	15,3
	DMS	11,4	-	15,7

¹significativo si $p < 0,05$. S0: Testigo; S10: 10 kg S ha⁻¹ y S20: 20 kg S ha⁻¹. DDP: días después de plantación. CV: coeficiente de variación; DMS: diferencias mínimas significativas.

¹significant at $\alpha = 0,05$. S0: Control; S10: 10 kg S ha⁻¹ and S20: 20 kg S ha⁻¹. DDP: days after planting. CV: coefficient of variation; DMS: minimum significant difference

Tabla 6. Entrada y salida de S del sistema y pérdida de S (ΔS) en los primeros 40 cm del suelo. Estimado a partir del balance de masa para cada tratamiento y sitio.

Table 6. S inputs (Entrada) and outputs (Salida) from the system and losses (ΔS) from first 40 cm of soil. Estimated from the mass balance for every treatment and site.

	Tratamiento	Entrada S	Salida S	ΔS
		------(kg ha ⁻¹)-----		
Sitio 1	S0	67,0	61,4	5,6
	S10	77,0	57,8	19,2
	S20	87,0	56,2	30,8
ANOVA	Valor p ¹	-	0,46	0,007
	R ²	-	0,33	0,92
	CV	-	8,0	27,95
	DMS	-	10,6	10,64
Sitio 2	S0	71,0	79,1	-8,1
	S10	81,0	75,0	6,0
	S20	91,0	78,9	12,1
ANOVA	Valor p ¹	-	0,86	0,14
	R ²	-	0,45	0,71
	CV	-	12,6	733,9
	DMS	-	22,3	22,29

¹significativo si $p < 0,05$. S0: Testigo; S10: 10 kg S ha⁻¹ y S20: 20 kg S ha⁻¹. DDP: días después de plantación. CV: coeficiente de variación; DMS: diferencias mínimas significativas.

¹significant at $\alpha = 0,05$. S0: Control; S10: 10 kg S ha⁻¹ and S20: 20 kg S ha⁻¹. CV: coefficient of variation; DMS: minimum significant difference

la cantidad de S aportado por el funguicida y el agua de riego. La contribución de S proveniente de estas fuentes es importante y deberían ser tenidas en cuenta en el manejo de la fertilización azufrada en el cultivo de papa.

La cantidad de S que salió del sistema (Tabla 6) dependió de la cantidad de S que exportaron los tubérculos a la cosecha, del S que quedó en el rastrojo (Srpl) y del S residual en el suelo, siendo este último el componente más relevante. La salida de S no varió por efecto de la aplicación de S en ambos sitios. La pérdida de S (S) varió con el sitio y tendió a aumentar con la dosis de S; determinándose los mayores valores en S10 y S20, y menor en S0. En papa bajo riego, las pérdidas gaseosas son prácticamente irrelevantes y el lavado de SO_4^{-2} sería probablemente el mecanismo de pérdida más destacado.

CONCLUSIONES

Los resultados permiten concluir que, a pesar de la muy baja concentración de SO_4^{-2} en suelo, la producción de materia seca total, la cantidad de S acumulado en planta y el rendimiento de tubérculos no respondió al agregado

de S. La relación N:S en planta y en tubérculos, como el balance de S confirmaron el adecuado suministro de S. La cantidad de S que aportó el suelo, los funguicidas y el riego durante el ciclo fueron suficientes para cubrir los requerimientos del cultivo.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo se realizó con financiamiento de los proyectos de la FCA-UNMP (15/A319), de INTA (AERN 295561) y de FONCYT (PICT 2007 446).

BIBLIOGRAFÍA

- Blake Kalf, MMA; MJ Hawkesford; FJ Zhao & SP Mcgrath. 2000. Diagnosing sulfur deficiency in field grown oilseed rape (*Brassica napus* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Soil* 225: 95-107.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Bremner, JM. 1965. Total nitrogen. Black CA (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy, ASA, Madison, WI. Monography* 9: 1149-1178.
- Caldiz, DO. 2004. Características y manejo de la variedad Innovator. *Del Campo a la Fábrica* 4(4): 3-5.

- Caldiz, DO. 2006. Producción, cosecha y almacenamiento de papa en la Argentina. McCain Argentina SA, Balcarce – Basf Argentina SA, Capital Federal. Argentina. 226pp.
- Della Maggiora, Al; I Echarte; EE Suero & Al Irigoyen. 1998. Disminución del rendimiento en los cultivos de maíz, girasol, soja y trigo en la localidad de Balcarce. Actas X Congreso Brasileiro de Meteorología y VIII Congreso de la Federación Latinoamericana e Ibérica de Sociedades de Meteorología. Editadas en CD: 5 p.
- Della Maggiora, Al; Al Irigoyen; JM Gardiol; O Caviglia & L Echarte. 2003. Evaluation of a soil water model for the corn crop. *Rev Argric Agrometeor* 2:167-176.
- Echeverría, HE. 2005a. Azufre. Echeverría HE & FO García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina, pp 139-160.
- Echeverría, HE. 2005b. Papa. Echeverría HE & FO García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina, pp 365-378.
- Echeverría, HE & R Bergonzi. 1995. Estimación de la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste bonaerense. Boletín Técnico 135. EEA INTA Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Echeverría, HE & H Sainz Rozas. 2005. Nitrógeno. De Echeverría, HE & FO García (eds.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 69-98.
- Echeverría, HE; NF San Martín & R Bergonzi. 1996. Mineralización de azufre y su relación con nitrógeno en suelos agrícolas. *Ciencia del Suelo* 14: 107-109.
- Errebhi, M; CJ Rosen; FI Lauer; CG Satinsh; & DE Birong. 1998. Potato Yield Response and Nitrate Leaching as influenced by Nitrogen Management. *Agron J.* 90: 10-15.
- García, F. 2008. <http://www.elsitioagrícola.com> (consulta: 5/11/2008).
- LECO. 2009. Organic application notes. <http://www.leco.com> (consulta: 18/02/2009).
- Lemaire, G; MH Jeuffroy & F Gastal. 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage. Theory and practices for crop N management. *European Journal Agronomy* 28: 614-624.
- Maynard, DG; JBW Stewart & JR Bettany. 1983. Use of plant analysis to predict sulfur deficiency in rapeseed (*Brassica napus* and *Brassica campestris*). *Can. J. Soil Sci.* 63: 387-396.
- Pasqualini, S. 1999. Evaluación del efecto de la adición de distintos nutrientes en el cultivo de papa. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad Ciencias Agrarias. UNMDP. Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Paz, I; V Aparicio & JL Costa. 2006. Efecto de la calidad del agua de riego sobre algunas propiedades físicas y químicas de los suelos del sudeste bonaerense. INTA Balcarce. 6 pp. Consulta on line: www.argenpapa.com.ar
- Pereira, AB & CC Shock. 2006. Development of irrigation best management practices for potato from a research perspective in the United States. *Sakia. org e-publish* 1(1): 1-20.
- Reussi Calvo, NI. 2009. Deficiencia de azufre en trigo: indicadores de disponibilidad en material vegetal. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata (Balcarce, Argentina).
- Reussi Calvo, NI; HE Echeverría & H Sainz Rozas. 2006. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 24(1): 77-87.
- Sainz Rozas, H; HE Echeverría & HP Angelini. 2011. Niveles de materia orgánica y de pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana Argentina. *Ciencia del Suelo* 29(1): 29-37.
- SAS Institute. 2001. The SAS system for Windows. Release version 6.12. SAS Inst., Cary, NC.
- Smiley, RW & MM Craven. 1978. Fungicides in Kentucky Bluegrass Turf: Effects on Thatch and pH. *Agronomy Journal* 70: 1013-1019.
- Thomas, SG; TJ Hocking & PE Bilsborrow. 2003. Effect of sulphur fertilization on the growth and metabolism of sugar beet grown on soils of differing sulphur status. *Field Crops Research* 83: 223-235.
- Vos, J & DKL Mackerron. 2000. Basic concepts of the management and supply of nitrogen and water in potato production. In: AJ Haverkort y DKL Mackerron (eds.). Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen Pers., Wageningen. The Netherlands, pp. 15-33.
- Walkley, A & IA Black. 1934. An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Sci.* 37: 29-37.
- Westermann, DT. 1993. Fertility management. p. 77-86. In: RC Rowe (ed.) Potato health management. Plant health management series. APS Press. Minnesota, USA.