

Fertilización con Azufre.

- JUAN GALANTINI · COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC), CERZOS - DPTO. AGRONOMÍA - UNS
- MARÍA LANDRISCINI · CONICET, DPTO. AGRONOMÍA - UNS.
- RODRIGO FERNÁNDEZ · COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC), CERZOS. DPTO. AGRONOMÍA - UNS.

Introducción

En las regiones semiárida y subhúmeda, la optimización en la aplicación de fertilizantes es difícil, debido a la irregularidad de las precipitaciones; en estos casos, adecuar las aplicaciones a las condiciones de fertilidad particulares y al potencial de rendimiento permitiría ajustar la fertilización. En el sur bonaerense, los factores naturales (textura y profundidad de suelo) y antrópicos (características del sistemas de producción utilizado) han demostrado ser los que más afectan los niveles de S en el suelo, así como la disponibilidad para los cultivos (Galantini et al., 2002).

El trigo es el cultivo que ocupa la mayor superficie en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Como consecuencia de la intensificación de la actividad agrícola, donde es escasa la reposición de los nutrientes extraídos del suelo, se observan deficiencias de macro elementos tales como Nitrógeno (N), Fósforo (P), Azufre (S).

El uso irracional de los fertilizantes disminuye la eficiencia de los nutrientes, produciendo pérdidas en el rendimiento en grano con el consecuente perjuicio económico y aumento de los riesgos ambientales.

Existe una importante interacción entre las fertilizaciones con N y S (Wooding et al., 2000b). Ambos elementos no deben ser considerados en forma separada ya que tienen efectos determinantes sobre el rendimiento y la calidad el grano, ya sea en la harina como en la masa (Moss et al., 1981).

Importancia y funciones del S.

- Forma parte de proteínas tales como cistina, cisteína y metionina.
- Forma parte de algunas vitaminas, biotina y tiamina.
- Es constituyente de distintas enzimas del metabolismo celular, como la coenzima A.
- Interviene en la estructura terciaria de las proteínas.

- Contribuye en la formación de la clorofila.
- Un buen suministro de S puede hacer un uso más eficiente de N, P y otros elementos por parte de las plantas.
- Influye en el rendimiento y en la formación de proteínas vinculadas con la calidad para la panificación.

Uso de fertilizantes que poseen bajo contenido de S como impureza.

Uso de cultivos con mayores potenciales de rendimiento.

Menor emisión de gases como el dióxido de S de la actividad industrial.

Suelos de textura gruesa, con bajos contenidos de materia orgánica (MO) y con alta intensidad agrícola. (Lamond, 1991; Pasricha, Aulakh, 1991).

Las gramíneas, como el trigo, poseen bajos requerimientos de S en comparación con otras especies de alto contenido de aceite, como la soja y las crucíferas (mostaza o colza) (Tabla 1). Sin embargo, la extracción por los sucesivos cultivos sin reposición lleva a deficiencias de este elemento.

Los síntomas visuales de deficiencia de S son clorosis o amarillamiento de las hojas más jóvenes, menor altura y menor cantidad de macollos.

TABLA 1 | Cantidad de S total absorbido y extraído en grano expresado en kg de S por tonelada de grano base seca en trigo, soja, girasol y colza.

Cultivo	Absorción total kg S ton ⁻¹	Extracción en grano kg S ton ⁻¹
Trigo	5	2
Soja	4	3
Girasol	5	2
Colza	12	7

Referencia: Ciampitti, García, 2007.

Ciclo del Azufre

La mayor parte del S edáfico (hasta el 98%) puede estar presente como compuestos orgánicos asociados con una mezcla heterogénea de residuos vegetales y animales, sustancias húmicas y microorganismos del suelo (Scherer, 2001). Por lo tanto el principal suministro y almacenaje de S en el suelo se encuentra en el S orgánico. El S en el suelo proviene fundamentalmente de la descomposición de la materia orgánica y de los procesos de mineralización e inmovilización que determinan la disponibilidad de S para el crecimiento de las plantas. El S mineralizado es muy variable, encontrándose valores entre 1,7-6% del S orgánico equivalente a 7-49 kg de ha-1año-1.

El S microbiano representa entre el 1,5 al 5% del S orgánico.

Hay una similitud entre los ciclos del N, Carbono (C) y S en el suelo. La relación C:N:S en la MO es generalmente 100:10:1, dependiendo de las características de los suelos: cantidad y calidad de la MO, pH y sistemas de producción (labranzas, fertilización, rotación de cultivos, etc.). Los procesos de mineralización e inmovilización del S son análogos a los del N. El agregado de residuos con alta relación C:S (mayor de 400) inmoviliza el S disponible, mientras que con una baja relación (menor de 200) se produce la mineralización (Chapman, 1997).

Además del aporte del suelo de S para el cultivo, el S puede provenir directamente (absorbido en forma gaseosa) o indirectamente (junto con las lluvias) del SO₂ atmosférico. Las lluvias proveen entre 1-100 kg de S ha-1año-1, dependiendo de su cantidad, época del año y proximidad con las zonas urbanas e industriales. Los fertilizantes son otra fuente de S, ya sea en forma de sulfato o de S elemental.

La principal salida del S en los sistemas productivos es la extracción periódica por las cosechas de grano, pasto, carne, etc. A modo de ejemplo, la cantidad tomada por el cultivo de trigo y colza se presentan en la Tabla 1. Las precipitaciones abundantes favorecen las pérdidas por lixiviación de los SO₄⁼ de la solución del suelo y por escurrimiento superficial. En condiciones de anaerobiosis, en el caso de suelos inundados, se puede producir la volatilización de SH₂.

Formas de S en el suelo

- S disponible: es la forma de S utilizada por las plantas en forma de sulfato (SO₄⁼) de sales como sulfato de calcio, sodio y potasio. Existe una correlación significativa entre la cantidad de SO₄⁼ y la cantidad de sitios de absorción de las arcillas, dependiendo del tipo de arcilla y del pH. Los sulfatos al igual que los nitratos, son iones solubles y móviles y por lo tanto susceptibles a lixiviación.
- S orgánico lábil y de los microorganismos: Esta fracción cambia rápidamente utilizando y liberando SO₄⁼ (incluye residuos de cultivo y microorganismos del suelo).
- S orgánico resistente: representa entre un 60-90% del S total del suelo, esta fracción está formada por el S ligado a carbonos más resistentes de plantas y microorganismos.
- S inorgánico: Son pequeñas cantidades de S adsorbido (SO₄⁼), lixiviado y acumulado como yeso en profundidad y S reducido en suelos inundados.

- S en planta: depende del tipo de cultivo sembrado ya que de diferentes especies extraen el S en diferentes cantidades.
- S en residuos de plantas: Depende del tipo de cultivo, método de cosecha cantidad y calidad de residuos.

Las fracciones lábiles de la MO predominan en el sistema y los cambios de manejo en la de entradas de nutrientes pueden llevar mucho tiempo para alcanzar un estado estable. El S disponible es demasiado escaso para mantener las necesidades de los cultivos sin reposición.

Aspectos metodológicos

Durante las campañas agrícolas 2003-2004-2005 se realizaron redes de ensayos de fertilización con trigo, consistente en la aplicación de una sola dosis de S (12 kg ha-1) combinada con una dosis de N (50 kg ha-1), para el año 2003 y la misma dosis de N combinada con tres dosis de S: 6, 12, 24 kg ha-1, para los años 2004 y 2005. Los sitios se ubicaron geográficamente en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires en los partidos de Bahía Blanca, Cnel. Dorrego, Cnel. Pringles, Cnel. Suárez, Tornquist y Pigüé. Se tomaron muestras de planta para evaluar la materia seca (MS) en los estadios de macollaje-encañazón. A cosecha se determinó la producción de grano y paja.

Resultados obtenidos y Discusión

En el año 2003 las condiciones climáticas que lo caracterizaron fueron de un importante déficit hídrico hasta fines de septiembre en donde se produjeron precipitaciones, las cuales en gran parte de los 27 ensayos realizados en esta campaña no alcanzaron para que el cultivo se recuperara. La fertilización con S produjo un efecto significativo y variable en el tiempo. En el período de encañazón, la aplicación de S produjo un incremento en la materia seca (MS) producida en aproximadamente el 80% de los ensayos. A cosecha, la respuesta significativa se observó en aproximadamente el 30% de los ensayos. La mayor producción de MS en esta región genera demandas hídricas que pueden no ser satisfechas, haciendo que el incremento en la MS no llega a traducirse en grano. El incremento promedio de todos los ensayos por el agregado de azufre fue cercano a 190 kg de grano ha-1 y la variabilidad en el rendimiento aumentó.

En el año 2004 se realizaron 34 ensayos; este año se presentó agro climáticamente favorable en toda la región de estudio, con una adecuada cantidad y distribución de las precipitaciones, lo cual hizo que se observaran importantes respuestas al agregado de fertilizantes. Durante esta campaña, la respuesta estuvo relacionada con la disponibilidad de nutrientes y otros parámetros de sitio vinculados con el rendimiento. Se encontraron respuestas significativas a la aplicación de S en la MS tanto en macollaje como en grano a cosecha. En macollaje, de los 34 ensayos muestreados, 26 mostraron respuesta (77% de los ensayos) con un aumento entre 9%-98% respecto al tratamiento sin S. Además, se pudo observar una coloración verde más intensa en el follaje de los tratamientos fertilizados. Al final del ciclo, por factores climáticos adversos se cosecharon 31 ensayos, de los cuales sólo en 23 se encontró respuesta al S (74% de los sitios con respuesta), con aumentos entre 6%-77%, respecto del

testigo. Las respuestas llegaron a superar los 1000 kg de grano ha⁻¹ con muy alta variabilidad entre los valores máximos y mínimos.

En año 2005 hubo un gran déficit hídrico durante todo el ciclo del cultivo y en prácticamente toda el área de estudio lo cual en muchos de los ensayos se lograron magros rendimientos, llegando a cosecha 25 ensayos. Se encontró respuesta al S en 13 sitios con un promedio de respuesta en grano de 622 kg ha⁻¹.

Teniendo en cuenta todos los años de estudio se obtuvieron un total de 86 ensayos realizados de los cuales se encontró respuesta en rendimiento en grano al agregado de S en 54 de ellos representando un 63% de sitios.

La gran variabilidad climática de los tres años de estudio y la amplia zona de experimentación con sitios de distintas características agrícolas (profundidad del perfil de suelo, cultivo antecesor, tipo y cantidad de cobertura del suelo, etc.) produjo una gran disparidad en las respuestas a la aplicación de fertilizantes, no pudiéndose utilizar los datos experimentales en conjunto para realizar conclusiones generales.

En nuestro país no hay datos certeros de diagnóstico y recomendación para la fertilización del trigo con S, por lo que se utilizan los valores de S extractable en suelo de los ensayos realizados en otros países donde se recomiendan can-

tidades entre 20-40 kg de S ha⁻¹, cuando el valor del S-SO₄= se encuentra por debajo de 10 ppm (Jones, 1986). En los ensayos propios, los valores de S-SO₄= del suelo (Ss) en 0-20 cm de profundidad, oscilaron entre 9,5 y 27 ppm encontrándose sólo dos sitios por debajo del valor umbral de 10 ppm citados por la literatura.

En el presente estudio se analizó la relación entre los valores de S-SO₄= del suelo (Ss) a la siembra, en 0-20 cm y 0-60 cm de profundidad, y la respuesta al agregado de S, en kg de granos ha⁻¹, no encontrándose una tendencia clara que explique la asociación entre estas variables (Figura 1a y b).

En la Figura 2 se observa que con 26 kg ha⁻¹ de S disponible (S del suelo más el S aportado por el fertilizante, Ss+Sf) se alcanza el 100% del rendimiento relativo, si bien podrían esperarse respuestas en un rango de S disponible entre 23 a 38 kg ha⁻¹.

Se encontró una correlación adecuada (43%) entre el rendimiento en grano y el S disponible (Ss+Sf) (Figura 3).

Estos resultados ponen en evidencia que la cantidad de S requerido para maximizar el rendimiento en grano es mucho mayor que los valores que toma el cultivo, que la disponibilidad parecería alta pero se observan respuestas en

FIGURA 1 | Relación entre la respuesta en grano a la fertilización con S y Ss a la siembra en a) 0-20 cm y b) 0-60 cm de profundidad.

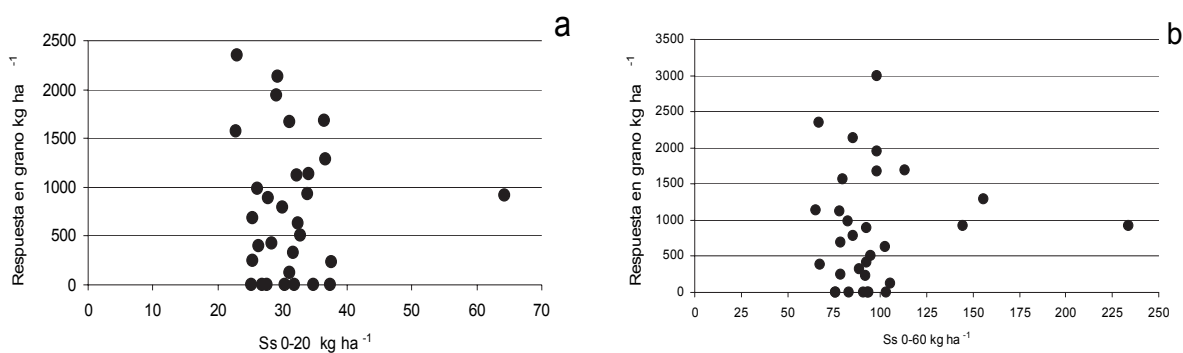


FIGURA 2 | Relación entre el rendimiento relativo y el S disponible (Ss+Sf) para la profundidad de 0-20 cm.

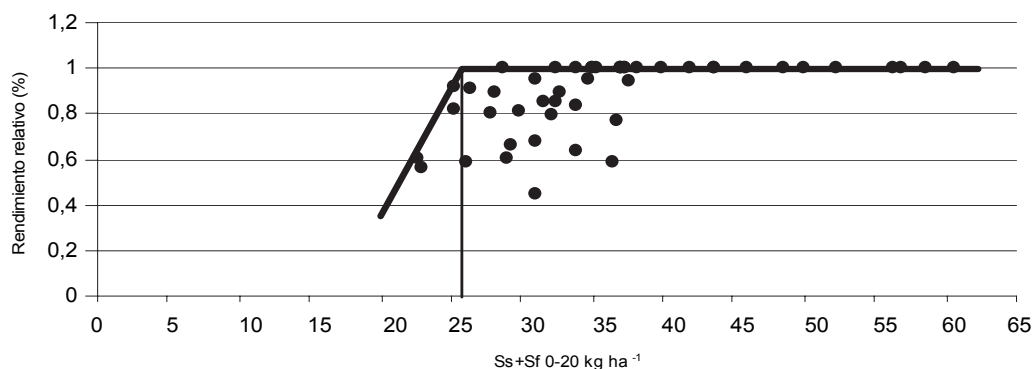


FIGURA 3 | Relación entre el rendimiento en grano y el S disponible (Ss+Sf) para 0-20 cm de profundidad.

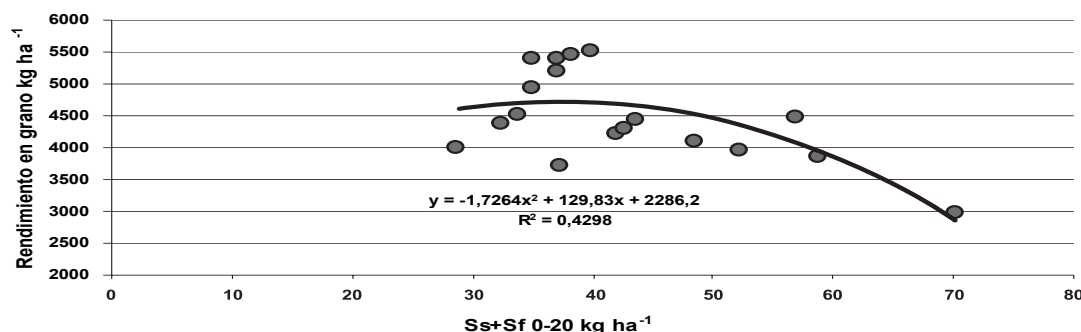
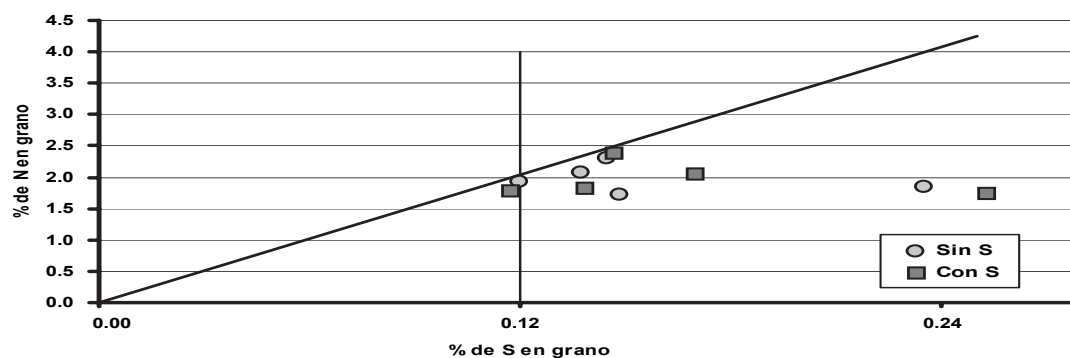


FIGURA 4 | Relación entre el contenido de N y S en grano en muestras con y sin aplicación de S.



la materia seca durante el ciclo y que existe una alta variabilidad que indicaría una fuerte interacción con otros factores. Por todo esto, es que tanto el diagnóstico como la aplicación del azufre debe realizarse teniendo en cuenta el resto de los factores determinantes del rendimiento: agua, nitrógeno, fósforo, cultivos antecesores, contenido de materia orgánica particulada, etc.

Randall et al. (1981) propusieron valores de N:S y % de S en grano de 17:1 y 0,12% respectivamente como indicadores de deficiencia de S.

En 5 ensayos realizados, de los cuales 4 presentaron respuesta al S, se analizó la concentración de N y S en el grano. La concentración de S varió entre 0,12% y 0,25%, sugiriendo, según lo dicho por Randall, que no hay deficiencias de S, lo que se contradice con las repuestas en grano encontradas. En dos de los cinco sitios la concentración de N en grano tuvo un ligero incremento por la aplicación de S. La relación N:S se mantuvo o disminuyó en los tratamientos con S, encontrándose todas por debajo de 17:1. (Figura 4).

Conclusiones

Se encontraron respuestas importantes y variables a la aplicación de azufre en el área en estudio, lo que sugiere que la deficiencia de este nutriente debe ser tenida en cuenta. Los suelos de la región caracterizados por poseer bajo nivel

de MO, texturas de medianas a gruesas, con historia de agricultura continua y con escasa reposición de nutrientes. Cabe destacar que todos los ensayos se realizaron en sitios con planteos en siembra directa donde la cobertura de rastrojo ayuda a que la temperatura del suelo sea menor que en labranza convencional, disminuyendo el probable aporte de S a partir de la mineralización de la MO.

La disponibilidad de agua es el principal factor limitante y debería ser considerado en el momento de definir el rendimiento objetivo y calcular los requerimientos que debe tener disponible el cultivo. Son particularmente importantes las lluvias que ocurren a partir de encañazón, las que son generalmente menores y más variables, en coincidencia con los mayores requerimientos.

Se encontró una buena relación entre el rendimiento en grano y el S disponible en los primeros 20 cm de profundidad del suelo, sin embargo, la variabilidad fue alta.

Se debe plantear un adecuado balance entre la disponibilidad de N y S, y las necesidades del cultivo de trigo para obtener el rendimiento objetivo y buscar indicadores nuevos y más precisos que sean útiles para el diagnóstico de la fertilización.

Bibliografía

- Chapman S.J. 1997. Barley straw decomposition and S immobilization. *Soil Biology and Biochemistry* 29:109-114.
- Ciampitti I.A., F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosos e industriales. *Archivo agronómico* N° 11. *Informaciones agronómicas del cono Sur* N°33.
- Galantini J.A., R.A. Rosell, G. Brunetti, N. Senesi. 2002. Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Haplustol durante la rotación trigo-leguminosas. *Ciencia del Suelo* Vol. 20 (1) 17-26.
- Jones M.B. 1986. Sulfur availability indexes. *Sulfur in Agricultura*. M. Tabatabai (Ed) ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin, EEUU.
- Lamond R.E. 1991. Sulphur research in Kansas, *Sulphur in agriculture* 15: 24-27.
- Moss H.J., C.W. Wrigley, F. Mac Ritchie, P.J. Randall. 1981. Sulfur and Nitrogen fertilizer effects on wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 32:302.
- Pasricha N.S., M.S. Aulakh. 1991. Twenty years of sulphur research and oilseed production in Punjab, India. *Sulphur in agriculture* 15: 17-23.
- Randall P.J., K. Spencer, J.R. Freney. 1981. Sulfur and nitrogen fertilization effects on wheat. I Concentration of sulfur and nitrogen to sulfur ratio in relation to yield response. *Aust. J. Agric. Res.* 32:203-212.
- Scherer H.W. 2001. Sulphur in crop production. *Europ. J. of Agron.* 14:81-111.
- Wooding A.R., S. Kavale, A.J. Wilson, F.L. Stoddard. 2000. Effects of nitrogen and sulphur fertilization on commercial-scale wheat quality and mixing requirements. *Cereal Chem.* 77:791-797.