

¿Qué sabemos del diagnóstico de azufre en los cultivos de la región pampeana argentina?

W.D. Carciochi^{1,4,*}, G.A. Divito^{2,4}, N.I. Reussi Calvo^{3,4} y H.E. Echeverría⁴

Introducción

El azufre (S) es un elemento esencial para el crecimiento vegetal. Durante años, el estudio de este nutriente recibió poca atención dado que su disponibilidad en el suelo y los aportes atmosféricos y/o en los agroquímicos permitía cubrir la demanda de los cultivos. Sin embargo, en la actualidad, parte de la superficie cultivada a nivel mundial, incluida la región pampeana, presenta deficiencia de S (Echeverría et al., 2015). Para esta última región, la intensificación de la actividad agrícola y la adopción del sistema de siembra directa, fueron las principales causas de la actual deficiencia de S en los cultivos. Es así como se han reportado numerosos casos donde la aplicación de fertilizantes azufrados produjo aumentos en el rendimiento de soja (Gutierrez Boem et al., 2006; Divito et al., 2014), trigo (Salvagiotti y Miralles, 2008; Reussi Calvo et al., 2011) y maíz (Ferraris et al., 2006; Pagani et al., 2009).

En este escenario, la deficiencia de S mal diagnosticada tiene como consecuencia directa la reducción del rendimiento del cultivo y/o de la calidad de los granos. Por el contrario, la aplicación sistemática de fertilizantes representa una estrategia poco racional en términos económicos y ambientales. Por ello, es necesario contar con índices de disponibilidad de S que sean, precisos, simples y de bajo costo.

Se plantean como objetivos del presente trabajo:

- i) Realizar un análisis comprensivo de las herramientas disponibles para el diagnóstico del estatus azufrado en soja, trigo y maíz
- ii) Proponer un árbol de decisión para la fertilización azufrada
- iii) Identificar áreas de vacancia de información en la temática.

Herramientas para el diagnóstico del estatus azufrado

Características del suelo y sistema de producción

Existen ciertas condiciones ambientales y de manejo de un sitio que incrementan la probabilidad de ocurrencia de la deficiencia de S. De este modo, suelos de textura gruesa, con bajo contenido de materia orgánica (MO), bajo siembra directa, con prolongada historia agrícola, ausencia de barbechos, ambientes de alta productividad

y/o sin aporte sub-superficial de agua rica en sulfato, han sido identificados como escenarios de probable respuesta al agregado de S. Así, el conocimiento de esta información brinda una primera aproximación sobre la probabilidad de que los cultivos manifiesten deficiencia de S.

Cuantificación de la disponibilidad de S-sulfato en el suelo

La determinación de la cantidad de S-sulfato en el suelo a la siembra de los cultivos tiene como ventajas el conocimiento generalizado que existe sobre la forma de tomar las muestras y el beneficio de aprovechar la infraestructura y el equipamiento que disponen los laboratorios para la determinación de otros nutrientes. Sin embargo, esta determinación ha mostrado un escaso valor predictivo de la probabilidad de respuesta a la fertilización con S en la región pampeana (Pagani y Echeverría, 2011; Steinbach y Álvarez, 2012; Divito y Echeverría, 2014); siendo una de las causas la baja precisión de la cuantificación turbidimétrica (Russi et al., 2010; PROINSA, 2013).

Por otra parte, el aporte de sulfato de horizontes sub-superficiales (Echeverría et al., 2015), desde el agua de napa y el procedente de la mineralización del S orgánico durante el ciclo del cultivo también contribuyen a explicar la escasa performance que tiene el método. Pese a ello, resulta importante considerarlo como herramienta de diagnóstico, aunque requiere ser complementado con información agronómica, de manejo y/o con análisis de material vegetal.

Análisis de material vegetal

Los análisis de planta presentan la ventaja respecto a las determinaciones en muestras de suelo de que integran los efectos del suelo, clima y propios del cultivo, que afectan su estatus azufrado. Una de las determinaciones utilizadas es la concentración de S total en la biomasa aérea o en una parte específica de la planta. En general, la concentración de S depende de la parte de la planta analizada, del estadio de desarrollo y de la disponibilidad de otros nutrientes (Hahtonen y Saarela, 1995), lo que dificulta la definición de una única concentración crítica de S (concentración mínima requerida para lograr la máxima tasa de crecimiento y, por ende, la máxima producción de biomasa del cultivo). Para evitar esto, se ha propuesto la determinación de la relación nitrógeno:azufre (N:S), que es más estable durante el

1 Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

2 CONICET.

3 Laboratorio de suelos FERTILAB.

4 Unidad Integrada Balcarce: EEA INTA Balcarce - Facultad de Ciencias Agrarias (UNMDP). CC. 276, (7620). Balcarce, Argentina.

* Autor de contacto. Ruta 226 km 73.5. Balcarce, Argentina. Correo electrónico: waltercarciochi@hotmail.com

ciclo de crecimiento de los cultivos (Reussi Calvo et al., 2012). Si bien esta metodología es más precisa y ha permitido diagnosticar correctamente deficiencias de S en los distintos cultivos, presenta la desventaja de ser más costosa, en comparación con la determinación de sulfato en suelo. Para el análisis de granos, el método utilizado se basa en el empleo conjunto de la concentración de S y de la relación N:S en los mismos. Aunque éste no permite corregir deficiencias de S, resulta de utilidad como guía para la fertilización de otros cultivos en la rotación.

Una alternativa al análisis de nutrientes en material vegetal es el empleo de medidores de la transmitancia foliar. Los mismos presentan ventajas al permitir un diagnóstico instantáneo, de bajo costo, no destructivo y cuantitativo del contenido de clorofila de las hojas. Uno de los instrumentos más empleados es el Minolta SPAD® 502, el cual expresa un valor cuantitativo de la intensidad de color verde de la hoja denominado índice de verdor (IV). Dado que el síntoma más común de deficiencia de S es la disminución en la intensidad del color verde, debido a una menor concentración de clorofila, es posible utilizar dicho instrumento para caracterizar el estatus azufrado de los cultivos. Para ello, es necesario relativizar el valor de IV del lote a evaluar con el correspondiente a una franja o parcela fertilizada con S, obteniendo así un índice de suficiencia de azufre (ISS). El empleo de una franja sin limitaciones de S, también puede utilizarse para diagnosticar una deficiencia del nutriente, al comparar el rendimiento en grano del cultivo en la misma con el del resto del lote. Este caso, al igual que el análisis en grano, resulta de utilidad como guía para la fertilización de otros cultivos en la rotación.

En síntesis, en la actualidad se dispone de diferentes herramientas que permiten diagnosticar la disponibilidad de S, y que han sido evaluadas en los principales cultivos de la región pampeana.

Experiencias por cultivo

Soja

Debido a que la soja es el principal cultivo de la región pampeana y a que tiene un alto requerimiento de S (7 kg S t⁻¹ grano), se han realizado numerosas experiencias para evaluar la respuesta al agregado de este nutriente y la performance de las metodologías de diagnóstico. En soja de primera, se determinó que el 31% de 88 ensayos manifestaron aumento de rendimiento por el agregado de S (Ferraris, 2005; Gutiérrez Boem et al., 2006; Salvagiotti et al., 2012; Divito y Echeverría, 2014), siendo el mismo de 408 kg ha⁻¹ (11%). Por su parte, el cultivo de soja de segunda tiene mayor probabilidad de sufrir deficiencia de S debido a la extracción del nutriente del

cultivo antecesor. Por este motivo, se determinaron incrementos promedio de 405 kg ha⁻¹ (16%) en el 44% de 18 ensayos (Echeverría et al., 2011; Divito y Echeverría, 2014). Cabe aclarar que muchos de estos ensayos fueron realizados en sitios donde las condiciones ambientales y de manejo indicaban alta probabilidad de respuesta a la aplicación de S.

Indicadores de suelo: En el cultivo de soja de primera, la disponibilidad de sulfato (S-sulfato) en el suelo (0-60 cm) no ha permitido predecir la respuesta a la aplicación de S (Divito y Echeverría, 2014), o se han encontrado relaciones muy débiles ($R^2 = 0.27$) entre dichas variables (Ferraris, 2005). Sin embargo, adicionando al contenido de S-sulfato la relación materia orgánica/arcilla (MO/As) la predicción de la respuesta a S fue de 84% (Ferraris, 2005). Si bien estos resultados requieren ser validados, refuerzan la importancia de considerar las características del suelo para el diagnóstico. De manera similar, el rendimiento relativo (RR) de la soja de segunda tampoco se asoció aceptablemente con el

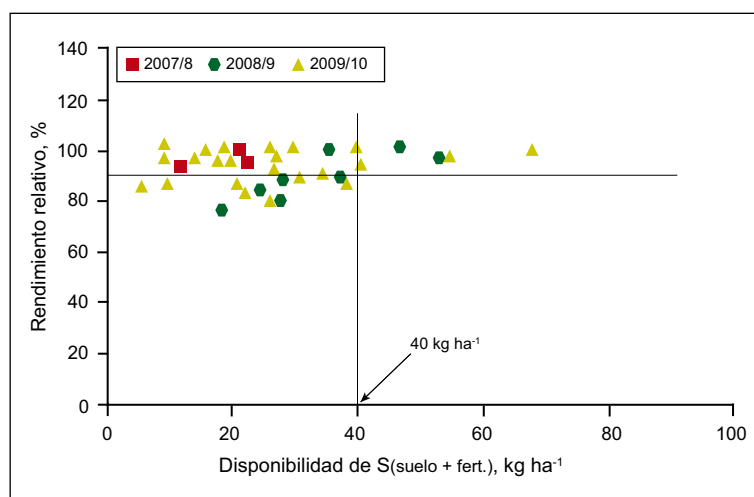


Figura 1. Rendimiento relativo de soja de segunda en función de la disponibilidad de S (S-sulfato + S del fertilizante) en el suelo en ensayos de fertilización azufrada de las campañas 2007, 2008 y 2009 (Echeverría et al., 2011).

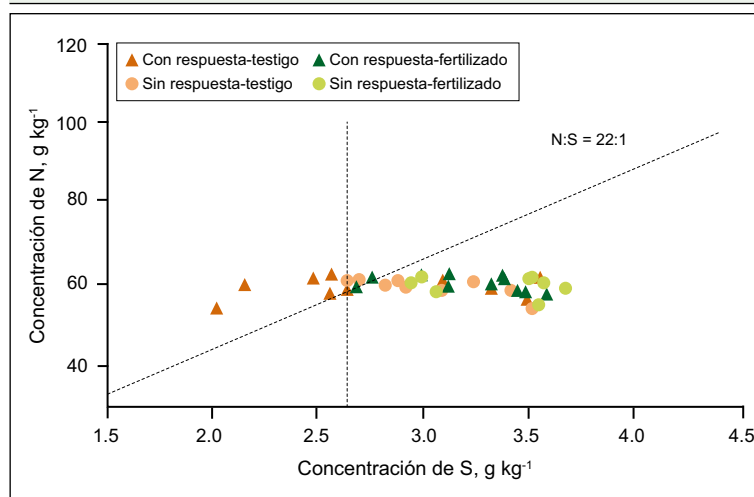


Figura 2. Relación entre la concentración total de N y S en granos de soja provenientes de cultivos con y sin respuesta a la aplicación de S. Adaptado de Salvagiotti et al. (2012).

contenido de S-sulfato en los primeros 60 cm del suelo (Echeverría et al., 2011). A pesar de ello, dichos autores propusieron un umbral de 40 kg S ha⁻¹. Es importante destacar que la mayoría de los tratamientos mal diagnosticados correspondieron a situaciones con bajo nivel de S-sulfato y ausencia de respuesta en rendimiento, lo cual se debería al déficit hídrico sufrido durante el ciclo (**Figura 1**). Asimismo, el umbral mencionado coincide con el reportado para la región pampeana Núcleo por Thomas et al. (2002) y permiten considerar al S-sulfato en suelo como aceptable método de diagnóstico.

Indicadores de planta: Trabajos recientes indican una buena performance de las metodologías de análisis de hojas del estrato superior, biomasa aérea total (ambos muestreados entre R1 y R3, Fehr y Caviness, 1977) y grano (Divito, inédito). Para dichos órganos fue posible definir umbrales críticos de 2.2, 1.9 y 3.3 g S kg⁻¹, respectivamente. Asimismo, el diagnóstico fue más preciso mediante el empleo de la relación N:S, para la cual se definieron valores críticos de 15:1, para hojas y biomasa aérea total y de 16:1 para grano (Divito, inédito). Por su parte, Salvagiotti et al. (2012) propusieron el uso combinado de la concentración de S y de la relación N:S en grano, siendo los umbrales 2.65 g S kg⁻¹ y 22:1, respectivamente (**Figura 2**). De esta forma pudieron diagnosticar correctamente el 100% y el 55% de los sitios sin y con deficiencia de S, respectivamente. Si bien con dichos umbrales se pudo tener un buen desempeño del método, los mismos difieren de los citados generalmente por la bibliografía.

Respecto al uso de índices ópticos, los resultados obtenidos con el ISS son auspiciosos, dado que lograron predecir la respuesta en rendimiento en ensayos de soja de primera (Divito et al., 2014) y soja de segunda (Divito y Echeverría, 2014). Sin embargo, cabe aclarar que el mejor desempeño de dicha metodología se observó en situaciones de severas deficiencias, como las ocurridas en la soja de segunda.

Trigo

A pesar del bajo requerimiento de S del cultivo (4.5 kg S t⁻¹ grano), en los últimos años se ha observado respuesta positiva a la fertilización con este nutriente en la región pampeana. La respuesta media fue de 245 kg grano ha⁻¹, según información generada entre 1995-2009 (Steinbach y Álvarez, 2012). Por su parte, en una red más reciente de 30 ensayos en dicha región, se determinó un 17% de sitios con respuesta, siendo el aumento medio del rendimiento del 12% (Echeverría et al., 2011).

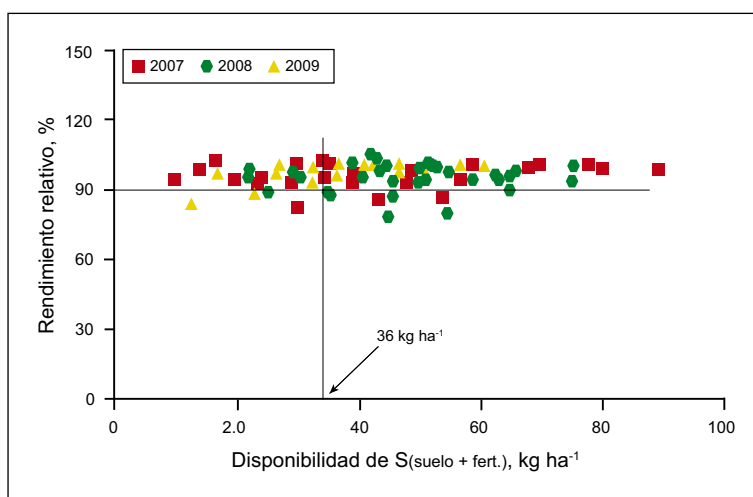


Figura 3. Rendimiento relativo de trigo en función de la disponibilidad de S (S-sulfato + S del fertilizante) en suelo en ensayos de fertilización azufrada de las campañas 2007, 2008 y 2009. n = número de muestras (n = 132) (Echeverría et al., 2011).

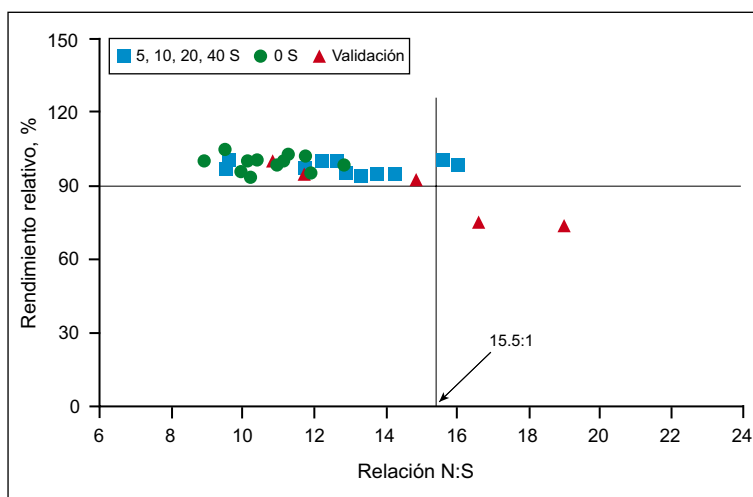


Figura 4. Rendimiento relativo de trigo en función de la relación N:S en el estadio de un nudo visible, para ensayos realizados con dosis de 0, 5, 10, 20 y 40 kg S ha⁻¹. Adaptado de Reussi Calvo et al. (2011).

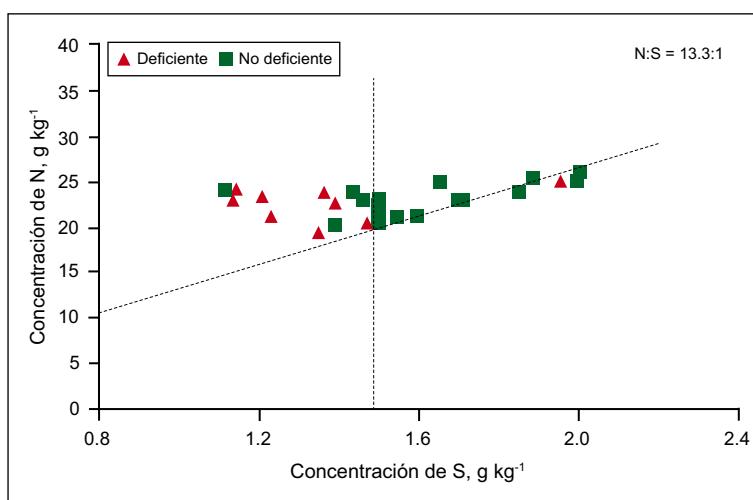


Figura 5. Relación entre la concentración total de N y S en granos de trigo provenientes de cultivos con y sin respuesta a la aplicación de S. Adaptado de Reussi Calvo et al. (2011).

Indicadores de suelo: Al intentar predecir la respuesta a la fertilización con S en función del contenido de sulfato en el suelo en presiembra, algunos autores no encontraron relación entre ambas variables (Steinbach y Alvarez, 2012; García et al., 2010). Sin embargo, en experiencias desarrolladas en el sudeste bonaerense se han determinado aceptables relaciones entre dicha variable y el RR del cultivo (Reussi Calvo et al., 2006). En la misma línea, considerando un RR del 90% y un umbral de 36 kg S ha^{-1} (Beaton y Soper, 1986), el RR del trigo se asoció con la disponibilidad de S (Echeverría et al., 2011), diagnosticando correctamente el 80% de los casos (**Figura 3**). Cabe aclarar que, de manera similar a lo discutido para soja, muchos de los sitios mal diagnosticados correspondieron a situaciones de bajo nivel de sulfato donde no se observó respuesta en rendimiento. Esto podría deberse en parte a deficiencias hídricas y por ende baja demanda de S por el cultivo, y también al aporte de sulfato sub-superficial, por agua de napa o el proveniente de la mineralización.

Así, los resultados permiten considerar al sulfato en suelo (0-60 cm) como elemento de diagnóstico inicial; y según éste la probabilidad de respuesta a la fertilización aumenta cuando la disponibilidad es inferior a 36 kg S ha^{-1} .

Indicadores de planta: La determinación de la relación N:S total en biomasa aérea y en grano son los indicadores que con mayor frecuencia se utilizan para el diagnóstico de deficiencias de S. El empleo de la relación N:S crítica en biomasa aérea de 16:1, desde inicio de macollaje hasta fin de encañazón (**Figura 4**), permitió diagnosticar correctamente entre 90 y 100% de las muestras de cultivos de trigo del sudeste bonaerense (Reussi Calvo et al., 2011). Utilizando dicho umbral se logró diagnosticar correctamente el 95% de las muestras provenientes de ensayos de varias zonas de la región pampeana (Echeverría et al., 2011).

Para el análisis de grano de trigo se propone el uso conjunto de la concentración de S total y de la relación N:S de los mismos, como un índice de la disponibilidad de S que tuvo el cultivo. Granos provenientes de cultivos que manifestaron respuesta a S son aquellos con una concentración menor a 1.5 g S kg^{-1} y con una relación N:S mayor a 13:1 (Reussi Calvo et al., 2011). De esta forma, Reussi Calvo et al. (2011) pudieron diagnosticar correctamente el 77% de las muestras (**Figura 5**); mientras que Echeverría et al. (2011) obtuvieron un 98% de los sitios diagnosticados correctamente, lo cual reafirma la robustez de dicho método de diagnóstico y umbrales.

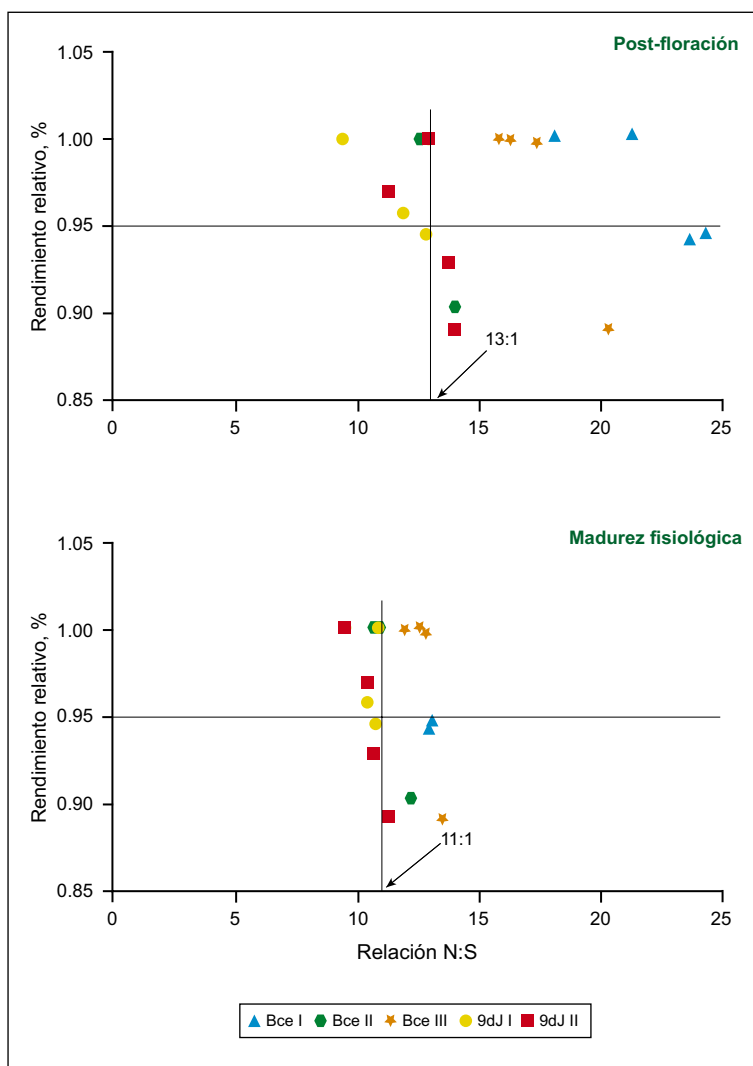


Figura 6. Rendimiento relativo en función de la relación N:S en planta entera de maíz para diferentes momentos del ciclo del cultivo. Datos provenientes de ensayos en Balcarce (Bce) y 9 de Julio (9dJ) (Pagani y Echeverría, 2011).

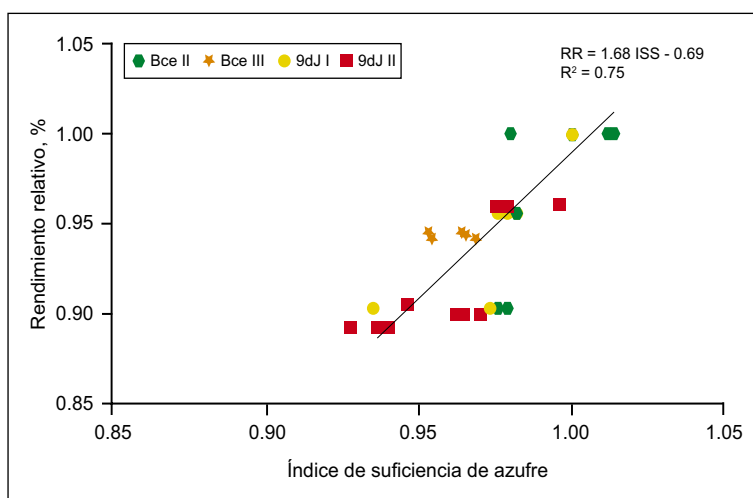


Figura 7. Relación entre el rendimiento relativo y el índice de suficiencia de azufre determinado en el estrato superior del canopeo de maíz durante el periodo V6-V14. Datos provenientes de ensayos en Balcarce (Bce) y 9 de Julio (9dJ) (Pagani y Echeverría, 2011).

Respecto al empleo de medidores de la transmitancia foliar, Loewy y Ron (2008) indicaron que en 3 de 6 ensayos el IV fue menor en el tratamiento que no recibió S, en determinaciones realizadas en espigazón. Sin embargo, sólo uno de estos mostró diferencias en el rendimiento en grano asociadas al IV.

Maíz

El maíz es un cultivo que tiene bajo requerimiento de S por tonelada de grano (4 kg S t⁻¹) pero, dado que en comparación con otros cultivos sus rendimientos son superiores, requiere en total una mayor cantidad de S. Es por esto que se han encontrado importantes respuestas a la aplicación de fertilizantes azufrados. Steinbach y Álvarez (2012) reportaron a través de un meta-análisis para la región pampeana 715 kg de

grano ha⁻¹ de respuesta promedio. Similares respuestas fueron determinadas por Pagani y Echeverría (2011) en el sudeste y norte de Buenos Aires, con incrementos del rendimiento del 11%. Por su parte, Ferraris et al. (2006) hallaron respuesta al agregado de S en 9 de 19 ensayos realizados en la zona núcleo, siendo la misma en promedio de 1100 kg ha⁻¹, lo que representa un aumento en el rendimiento del 13%. Es válido aclarar que, al igual que para los cultivos de soja y trigo, la proporción de sitios con respuesta y los incrementos de rendimiento mencionados, no son generales para la región pampeana, ya que la mayoría de los ensayos fueron realizados en sitios que por sus condiciones ambientales y de manejo presentaban alta probabilidad de respuesta a la aplicación de S.

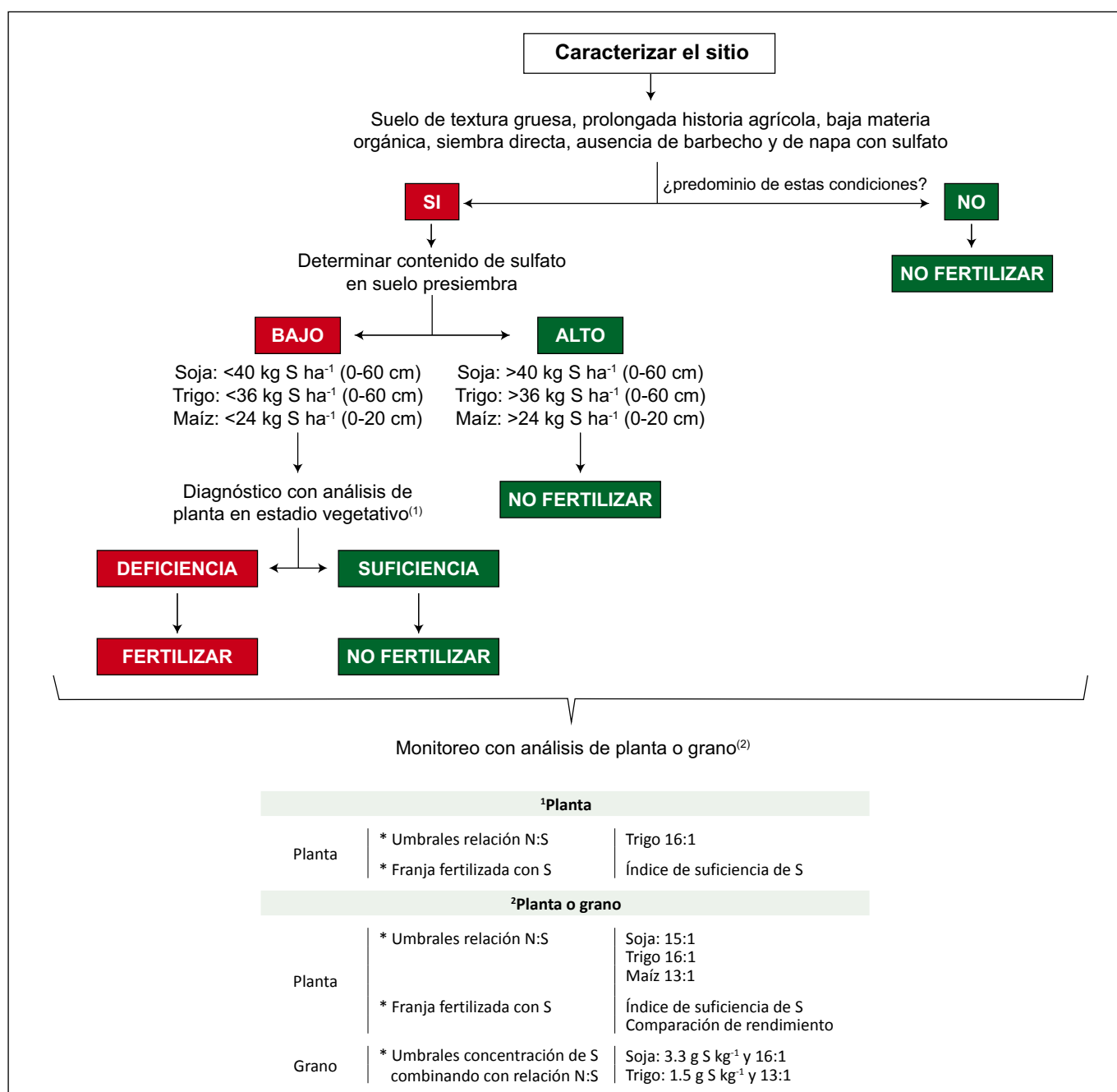


Figura 8. Árbol de decisión para la fertilización azufrada en los cultivos de soja, trigo y maíz en la región pampeana.

Indicadores de suelo: Diversos trabajos han intentado predecir la respuesta a S basándose en la disponibilidad de sulfato en el suelo (0-60 cm) a la siembra. Sin embargo, la mayoría de ellos no encontraron relación entre ambas variables (Salvagiotti et al., 2005; Ferraris, et al. 2006; Pagani y Echeverría, 2011; Steinbach y Álvarez, 2012). Una excepción a ello son los resultados reportados por García et al. (2010) quienes proponen un umbral del contenido de sulfato en suelo (0-20 cm) de 24 kg S ha⁻¹. De manera similar a lo discutido para soja y trigo, muchos de los sitios mal diagnosticados correspondieron a situaciones de bajo sulfato donde no se observó respuesta en rendimiento. Es por esto que el mencionado umbral requiere ser validado. También se intentó relacionar la respuesta a S con otras variables edáficas como MO, nitrato y relación MO/arcilla + limo, pero ninguna de ellas resultó exitosa (Pagani y Echeverría, 2011; Ferraris et al., 2006).

Indicadores de planta: Tanto la concentración de S total como la relación N:S en planta no permitieron caracterizar el estatus azufrado del cultivo en estadios tempranos de desarrollo (Pagani y Echeverría, 2011). Sin embargo, en el estadio de post-floración y en madurez fisiológica, el 78 y 89% de las muestras fueron correctamente caracterizadas considerando un rendimiento relativo del 90% y una concentración de S crítica de 0.9 y 0.95 g kg⁻¹, respectivamente. Por su parte, para los mismo estadios, 67 y 72% de las muestras fueron correctamente diagnosticadas (**Figura 6**), considerando un RR de 95% y una relación N:S crítica de 13:1 y de 11:1, respectivamente (Pagani y Echeverría, 2011). Dado que dichas calibraciones fueron realizadas con pocos sitios y moderada deficiencia de S, surge la necesidad de validar los umbrales. Respecto al análisis de granos, no se han reportado hasta el momento trabajos en el tema, por lo que no se cuenta con umbrales para su empleo como método de diagnóstico.

Por otra parte, mediante el uso del medidor de clorofila, Pagani y Echeverría (2011) determinaron relaciones significativas entre el RR y el ISS en estadios vegetativos del cultivo (**Figura 7**), siendo mayor dicha relación cuando las mediciones se realizaron en hojas del estrato foliar superior. Sin embargo, y al igual que lo ocurrido en soja y trigo, no se cuenta hasta el momento con umbrales para dicho método. Es por esto, que se propone el uso del mismo como metodología para caracterizar el estatus azufrado del cultivo de maíz, pero se requiere continuar evaluando esta herramienta.

Consideraciones finales

La información generada en la última década permite establecer que la deficiencia de S en la región pampeana no es generalizada, pero existen ciertas condiciones que favorecen su ocurrencia (suelos de textura gruesa, baja MO, ausencia de barbechos, ambientes de alta productividad, etc.) (**Figura 8**).

El empleo de la disponibilidad de S en suelo en presiembra no ha logrado una adecuada caracterización del estatus azufrado de los cultivos. La falla más común es la ausencia de respuesta en sitios con baja disponibilidad de sulfato (**Figura 8**). Por lo tanto, se propone continuar evaluando dicha metodología, incluyendo los aportes de:

- i) S por mineralización
- ii) Desde horizontes sub-superficiales
- iii) Por la napa de agua, para mejorar el diagnóstico, pese a que ello complejizaría el método.

Se han establecido umbrales que permiten diagnosticar el estatus azufrado del cultivo a partir de la relación N:S en planta, y de su uso combinado con la concentración de S total en grano (**Figura 8**). Sin embargo, sería conveniente validar dichos umbrales.

La determinación del ISS permitió caracterizar la disponibilidad de S en los tres cultivos, por lo que se propone su uso como metodología rápida y de bajo costo (**Figura 8**). Sin embargo, se requiere continuar evaluando dicho método a fin de definir con más precisión los umbrales de deficiencia.

Si bien en los últimos años se ha avanzado en el desarrollo y evaluación de métodos de diagnóstico de la disponibilidad de S, resta generar más información sobre metodologías que permitan un diagnóstico preciso, simple y de bajo costo.

Agradecimientos

El presente trabajo forma parte del proyecto de la UNMdP AGR447/14, del FONCyT PICT 2011-1796 y de proyectos del PN Suelos y PN CyOle del INTA.

Bibliografía

- Beaton, J., y R. Soper. 1986. Plant response to sulfur in Western Canada. In: Sulfur in Agriculture, ed. M. Tabatabai, pp. 375-405. Madison, WI: ASA-CSSA-SSSA
- Divito, G.A., y H.E. Echeverría. 2014. Deficiencia de azufre en soja en el sudeste bonaerense: ¿una cuestión cada vez más recurrente? Revista técnica: soja. AAPRESID. pp. 67-71.
- Divito, G.A., J.P. Martínez, y H.E. Echeverría. 2014. Deficiencia de azufre en soja en el sudeste bonaerense: diagnóstico con índices ópticos. Actas XXVI Congr. Arg. de la Ciencia del Suelo y II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Bahía Blanca, Argentina. 5 - 9 de mayo. En CD.
- Echeverría, H., N. Reussi Calvo, A. Pagani, y L. Fernández. 2011. Métodos de diagnóstico de deficiencia de azufre en los cultivos de trigo, soja de segunda y maíz. Presentado en Simposio Fertilidad 2011. pp. 98-107.

- Echeverría, H.E., N.I. Reussi Calvo, y A. Pagani. 2015. Azufre. En: H.E. Echeverría y F.O. García (Eds). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 287-315.
- Fehr, W.R., y C.E. Caviness. 1977. Stages of Soybean Development. Iowa State University, Ames, Iowa - USA.
- Ferraris, G. 2005. Pautas para el diagnóstico de la fertilidad azufrada en soja. Tesis MSc. EPG-FAUBA. 176 p.
- Ferraris, G., F. Gutiérrez Boem, P. Prystupa, F. Salvagiotti, L. Couretot, y D. Dignani. 2006. Fertilización azufrada en maíz, evaluación de la respuesta del cultivo y análisis de metodologías de diagnóstico de la fertilización azufrada: reporte final. Proyecto Regional Agrícola. Desarrollo Rural INTA Pergamino. [en línea] <www.profertilnutrientes.com.ar> [consulta: 9 febrero 2015].
- García, F., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, I. Ciampitti, A. Correndo, F. Bauschen, A. Berardo, y N. Reussi Calvo. 2010. La red de nutrición de la región Crea Sur de Santa Fe: resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009. Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola - AACREA. 64 p.
- Gutiérrez Boem, F.H., M. Barraco, H. Echeverría, G. Ferraris, P. Prystupa, A. Quiroga, F. Salvagiotti, y H. Vivas. 2006. Identificación de sitios deficientes en azufre mediante el análisis de grano de soja. [en línea] <www.acsoja.org.ar> [consulta: 9 de febrero 2015].
- Hahtonen, M. y I. Saarela. 1995. The effects of sulfur application on yield, sulfur-content and N:S-ratio of grasses for silage at six sites in Finland. Acta Agric. Scand. Section B. Soil Plant Science. 45:104-111.
- Loewy, T., y M.M. Ron. 2008. Fertilización nitro-azufrada, expresión del índice de verdor y rendimiento del nitrógeno en trigo. Actas 7° Congreso Nacional de Trigo. Santa Rosa, La Pampa, Argentina. 2 - 4 de julio. En CD.
- Pagani, A., H.E. Echeverría, y H. Sainz Rozas. 2009. Respuesta a nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz en diferentes ambientes en la provincia de Buenos Aires. Ciencia del Suelo. 27:21-29.
- Pagani, A., y H.E. Echeverría. 2011. Performance of sulfur diagnostic methods for corn. Agronomy Journal. 103:413-421.
- PROINSA. 2013. Ronda interlaboratorio para análisis de suelos agropecuarios. [en línea] <www.minagri.gov.ar> [consulta: 9 febrero 2015].
- Reussi Calvo, N.I., H.E. Echeverría, y H. Sainz Rozas. 2006. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo 24:77-87.
- Reussi Calvo, N.I., H.E. Echeverría, y H. Sainz Rozas. 2011. Diagnosing sulfur deficiency in spring red wheat: plant analysis. Journal of Plant Nutrition. 34:573-589
- Reussi Calvo, N.I., H.E. Echeverría, y H. Sainz Rozas. 2012. Stability of foliar N:S ratio in spring red wheat and sulphur dilution curve. Journal of Plant Nutrition. 35:990-1003.
- Russi, D., F. Gutiérrez Boem, P. Prystupa, y G. Rubio. 2010. Análisis interlaboratorios de sulfatos en suelos II: Análisis de exactitud. Actas XXII Congr. Arg. Ciencia del Suelo. Rosario Argentina. 31 de mayo al 4 de junio. En CD.
- Salvagiotti, F., F. Gutiérrez Boem, G. Ferraris, P. Prystupa, L. Couretot, y D. Dignani. 2005. Respuesta del maíz a dosis crecientes de azufre y su relación con variables del suelo. Para mejorar la producción - INTA EEA Oliveros. 29:61-66.
- Salvagiotti, F., y D.J. Miralles. 2008. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. European Journal of Agronomy 28:282-290.
- Salvagiotti, F., G. Ferraris, A. Quiroga, M. Barraco, H. Vivas, P. Prystupa, H. Echeverría, y F. Gutiérrez Boem. 2012. Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N:S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. Field Crops Reserch. 135:107-115.
- Steinbach, H.S., y R. Alvarez. 2012. Revisión del efecto de la fertilización con azufre sobre el rendimiento de trigo, maíz y soja en la región pampeana. Actas XIX Congr. Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congr. Arg. de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina 16 - 20 de abril.
- Thomas, A., M. Boxler, B. Alvarez de Toledo, R. Houssay, L. Martín, A. Berardo, y F. García. 2002. Red de ensayos de nutrición de cultivos, región CREA sur de Santa Fe, resultados de la campaña 2001/2: soja I y soja II. 13 p. [en línea] < www.ipni.net > [consulta: 9 febrero 2015].