

TECNOLOGÍA DE LA FERTILIZACIÓN AZUFRADA EN LA REGIÓN PAMPEANA ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS

Martin Torres Duggan¹, Mónica B. Rodríguez², Raúl S. Lavado³ y Ricardo Melgar⁴

¹Tecnoagro S.R.L y Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Buenos Aires, Argentina. torresduggan@tecnoagro.com.ar; ²

Facultad de Agronomía (UBA), Buenos Aires, Argentina.

mrodrigu@agro.uba.ar; ³INBA-CONICET/UBA y Facultad de Agronomía (UBA), Buenos Aires, Argentina. lavado@agro.uba.ar;

⁴EEA INTA Pergamino, Buenos Aires, Argentina. rmelgar@pergamino.inta.gov.ar

Artículo adaptado y ampliado de "A review of sulphur fertilizer use and technology management in Pampas Región of Argentina" presentado por los autores en el 19th World Congress of Soil Science (Brisbane, Australia), 1-6 de agosto de 2010.

Principales características agro-ecológicas de la Región Pampeana

Argentina es uno de los productores agrícolas más importantes del Hemisferio Sur, siendo la Región Pampeana la principal zona sembrada con granos. La superficie destinada a producción de cultivos es de alrededor de 34 millones de hectáreas (Figura 1). Esta superficie no incluye la Pampa Deprimida, donde la producción agrícola está limitada por la presencia de suelos halo-hidromórficos. Los suelos predominantes pertenecen al orden de los Molisoles (Soriano *et al.* 1991). El clima es templado, con un rango de temperaturas medias anuales de 14 a 17 ° C, y precipitaciones que varían entre 600 a casi 1000 mm anuales.

La porción húmeda de la Región Pampeana comprende áreas donde las precipitaciones anuales son cercanas a 1000 mm (e.g. norte, sur y sudeste de Buenos Aires). Hacia el oeste de esta región, donde las lluvias alcanzan los 600 mm anuales o menos, existen mayores limitaciones para la producción de cultivos. Las rotaciones típicas de la Región Pampeana son: trigo/soja 2°, soja continua, maíz-trigo/soja 2° y soja-trigo/soja 2°. El 70% del área implantada se realiza en siembra directa.

En los últimos 20 años se han incorporado mejoras tecnológicas de gran impacto productivo en los agroecosistemas pampeanos. Entre ellas se destacan: fertilización balanceada, siembra directa, nuevos genotipos y manejo integrado de plagas. En este contexto, la producción de granos aumentó de 35 millones de toneladas en 1991, a casi 90 millones de toneladas en 2006. En igual sentido, el consumo de fertilizantes se incrementó marcadamente: pasó de 250 mil toneladas en 1990 a 3,65 millones de toneladas en 2007, momento en el cual se registró el máximo consumo histórico de nutrientes.

El rol de la fertilización azufrada en la Región Pampeana

Históricamente, las principales deficiencias de nutrientes en la Región Pampeana correspondieron a

nitrógeno (N) y fósforo (P). A mediados de la década de 1990 comenzaron a aparecer los primeros indicios de respuestas a la fertilización azufrada (Rubio *et al.* 1996). Posteriormente las respuestas se establecieron definitivamente a partir de ensayos de campo conducidos por investigadores del INTA Casilda (Martínez y Cordone, 1998; Cordone y Martínez, 2001). En los últimos años las respuestas al agregado de S en diferentes cultivos de grano y forrajes se han generalizado en amplias zonas de la región. Dichas respuestas se observaron en las siguientes condiciones: suelos con bajo contenido de materia orgánica, suelos degradados, siembra directa, lotes con prolongada historia agrícola, ambientes con altas respuestas a la aplicación de N y P, entre las más destacadas (Gutiérrez Boem *et al.* 2007; Torres Duggan y Rodríguez 2009).

Como consecuencia de la difusión de los casos de respuestas al agregado de azufre (S) y el menor costo relativo de los fertilizantes azufrados en comparación con fuentes nitrogenadas y/o fosfatadas, la fertilización azufrada se convirtió en una práctica habitual dentro de los planteos de producción, aspecto que se evidencia en el incremento de la aplicación de S de los últimos años.

El crecimiento del consumo de fertilizantes azufrados fue creciente y sostenido hasta el año 2007 cuando se alcanzó, a nivel país, un consumo de aproximadamente 100 mil toneladas de S. Asimismo, en la campaña 2007/08, la reposición del S alcanzó el 42% y se estima que el 40-50% del área sembrada de trigo, soja y maíz se fertiliza con S, con dosis promedio de 7 a 10 kg S. ha⁻¹ (García y Salvaggiotti, 2009).

En las dos campañas siguientes (2008 y 2009) se produjo una reducción importante en la utilización de fertilizantes, debido fundamentalmente a la menor área sembrada de trigo y maíz determinada por la fuerte sequía y la incertidumbre de precios del mercado local. Con la normalización del régimen climático observada en la presente campaña 2010 y el interesante contexto actual de precios internacionales de los principales granos y de las relaciones insumo producto, es esperable que el consumo de fertilizantes retorne a valores normales.

Fertilizantes azufrados utilizados en la Región Pampeana

El fertilizante azufrado utilizado tradicionalmente en la Argentina ha sido el sulfato de amonio (SA, 21-0-0 24% de S) (FAO, 2004; Melgar y Torres Duggan, 2005). Con el progresivo desarrollo y madurez del mercado de fertilizantes, comenzó a aplicarse además, el superfosfato simple de calcio (SPS, 0-21-0+12% de S). El SPS era tradicionalmente importado desde distintos orígenes, aunque actualmente también es provisto por dos plantas recientemente instaladas en la Argentina, con gran capacidad de abastecimiento. El destino de este fertilizante es el mercado local y regional (Cono Sur), principalmente el mercado de soja, gran demandante de P y S.

Actualmente, la fuente azufrada sólida de uso más frecuente es el yeso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) obtenido a partir de yacimientos locales (e.g. Cuyo, La Rioja, etc.). Si bien el mineral de yeso puro contiene 18,6 % de S, relevamientos de muestras de yeso agrícola efectuados en la Argentina por Ponce y Torres Duggan (2005), indican gran variabilidad en la pureza y por lo tanto en el contenido de S biodisponible (Tabla 1).

Tabla 1. Composición química y proporción de azufre de muestras de yeso agrícola ofrecidas en el mercado (Ponce y Torres Duggan, 2005).

Origen (Provincia)	% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	% S
Catamarca	85,3	15,8
Entre Ríos	73,9	13,7
Mendoza	91,3	16,9

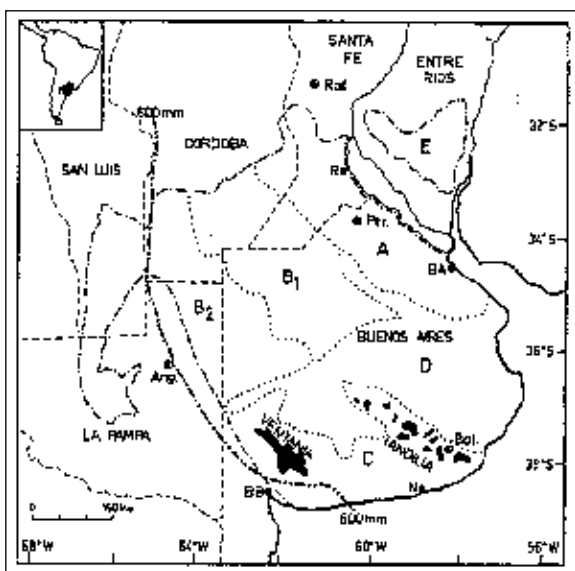


Figura 1. Subdivisiones de la Región Pampeana. A: Pampa Ondulada; B: Pampa Interior (B1: Llanura Pampeana; B2: Región Pampeana Oeste); C: Región Pampeana Sur; D: Pampa Deprimida; E: Pampa Mesopotámica. Adaptado de Soriano et al. (1991).

El consumo de azufre elemental (AE) en Argentina se estima en aumento aunque con niveles bajos por el momento. Las mejoras tecnológicas logradas por la industria de fertilizantes en cuanto al desarrollo de aditivos anti-polvo que reducen el riesgo de manipuleo del producto y fuentes de eficiencia mejorada ("Sulphur Enhanced Fertilizers" o SEF), generan una interesante expectativa en cuanto a la posibilidad de su utilización en fertilización de cultivos. Las principales ventajas del AE son su elevada concentración de S (la mayor de los fertilizantes azufrados) y, en consecuencia, la menor incidencia del costo de manipuleo y transporte. Es interesante mencionar que existe un renovado interés en cuanto al desarrollo y evaluación de SEF en regiones como EE.UU, Europa y Australia. Estos fertilizantes combinan frecuentemente S en diferentes formas químicas (e.g. S-SO_4^{2-} y S^0) y presentan mejoras importantes en cuanto a la disposición del azufre elemental (AE) dentro de la matriz de los gránulos, como así también en la forma y tamaño de las partículas (e.g. micronizado) que optimizan marcadamente la velocidad de oxidación y efectividad (Chien et al., 2009; Prochnow y Blair, 2010). La presentación física de los fertilizantes azufrados sólidos es, en general, granulada (2-4 o 1-5 mm). Sin embargo, algunas empresas proveen fuentes de S "pelleteado". En la literatura especializada en fertilizantes, el proceso de pelleteado también se lo denomina granulación. La granulación o pelleteado es el proceso de conversión de los fertilizantes en polvo a gránulos, que van de 1 a 5 mm de tamaño de partícula (Gowariker et al., 2009). Este proceso puede mejorar la reactividad de minerales insolubles o prácticamente insolubles en agua como es el caso del carbonato de calcio (calcita) o la dolomita (carbonato doble de calcio y magnesio). Sin embargo, en minerales solubles en agua como el yeso agrícola, el pelleteado no modifica su efectividad agronómica en términos de respuesta en rendimiento diferencial respecto al yeso no pelleteado. Esto fue observado cuando se compararon, en el cultivo de trigo, las respuestas al agregado de S con diferentes formas físicas de yeso (pelleteado y "sólido-granulado") con sulfato de amonio y SPS, con dos dosis de S (15 y 30 kg ha^{-1} de S) en experimentos de campo realizados en Rafaela, Santa Fe (Torres Duggan et al. 2006). Los fertilizantes líquidos por su parte, han mostrado un crecimiento muy considerable en consumo en los últimos años, debido fundamentalmente a ventajas agronómicas, logísticas y de aplicación (Uranga, 2007; Tamini, 2008). Los principales fertilizantes líquidos utilizados en la Argentina son soluciones nitro-azufradas formuladas en base a UAN (30-32% de N) y tiosulfato de amonio (TSA, 12% de N y 26% de S), que se mezclan en diferentes proporciones para formar distintos grados equivalentes. El TSA presenta la mayor concentración de S en solución dentro de los fertilizantes azufrados líquidos y tiene la

particularidad de actuar como inhibidor de la ureasa, mejorando la eficiencia de uso del N aplicado (Goos & Fairlie, 1998).

Tendencias en la utilización de fertilizantes

En los últimos años se observan las siguientes tendencias en la utilización de fertilizantes en general y de fertilizantes azufrados en particular (FAO, 2004; Melgar, 2005; Tamini 2008, García y Salvagiotti, 2009):

- Continua adopción de mezclas físicas y del granel como forma de despacho.
- Crecimiento de la utilización de fertilizantes azufrados.
- Evidencias de respuesta a micronutrientes en algunos cultivos (e.g. Cl, Zn, B, etc.).
- Crecimiento de la utilización de fertilizantes líquidos.
- Mejoras en los balances de nutrientes, principalmente de P y S.
- Importante difusión de los temas de fertilidad de suelos y fertilización de cultivos por parte de organizaciones gubernamentales y privadas.
- Mayor oferta de fertilizantes complejos "NPS", biofertilizantes y fertilizantes foliares.

En las últimas décadas se avanzó notablemente en el conocimiento agronómico del manejo de nutrientes y la disponibilidad de fuentes y tecnologías para su manejo. Sin embargo, se pueden mencionar algunas necesidades y desafíos para el futuro:

- Disponer de estadísticas de consumo de fertilizantes a nivel de localidad, por cultivo, etc.
- Profundizar la experimentación en química y dinámica del S en el sistema suelo-cultivo.

- Avanzar en la elaboración de modelos de diagnóstico de fertilidad azufrada, especialmente estudios de correlación y calibración.
- Estudiar los efectos directos y residuales de fuentes azufradas a campo y en condiciones controladas.
- Avanzar en el desarrollo de recomendaciones de fertilización a nivel regional o distrito.
- Integrar los sectores público y privado en proyectos de investigación.

Evaluación agronómica de fertilizantes azufrados

La mayor parte de la información experimental reciente sobre fertilización azufrada en la Argentina se concentra en general en la evaluación de una o más fuentes azufradas sulfatadas (i.e. de inmediata disponibilidad de S), existiendo escasa información sobre la performance del AE, tanto individualmente como en términos relativos a fuentes sulfatadas (i.e. efectividad agronómica relativa). En la Tabla 2 se citan algunos trabajos experimentales recientes publicados en la Argentina.

Como se observa en la Tabla 2, la información experimental reciente indica que, en términos generales, la respuesta a la fertilización azufrada de las fuentes sulfatadas son similares (i.e. similar efectividad agronómica). Estos resultados coinciden con la literatura internacional (Tisdale *et al.* 1993; Til, 2010).

En relación a las dosis de S, los niveles de máxima respuesta varían usualmente entre 10 a 20 kg S ha⁻¹. Es posible que en cultivos con alto requerimiento de S (e.g. colza) sea necesario aplicar dosis mayores en determinadas circunstancias. Además, en este cultivo resulta importante conocer la disponibilidad edáfica del N y S, como así también la relación entre los

Tabla 2. Revisión de experimentos recientes en los cuales se realizó la evaluación de fuentes azufradas en la Región Pampeana de Argentina.

Cultivo	Fuente de S	Dosis kg .ha ⁻¹ S	Respuesta en grano kg.ha ⁻¹	Efecto dosis	Efecto fuente	Referencia
Doble cultivo Trigo/soja 2º	Yeso	20 en secuencia o en cada cultivo (1).	Soja=217-620 Trigo=130 (E)	No evaluado	No evaluado	Salvagiotti <i>et al.</i> (2004)
Trigo	Yeso	15	625	No evaluado	No evaluado	Reussi Calvo <i>et al.</i> (2006)
Soja	SA y Yeso	15	160-500	No evaluado	ns	Gutierrez Boem <i>et al.</i> (2007)
Trigo	SA, Yeso y SPS	15 y 30	495	ns	ns	Torres Duggan <i>et al.</i> (2006)
Trigo	AE micronizado	24 y 40	208-465	ns en 4 de 5 sitios	ns	Tysko y Rodriguez (2006)
Trigo	SA y AE micronizado	10 y 30 (año 1) 15 y 30 (año 2)	600-1400 (año 1 y 2)	ns.	ns(2)	Torres Duggan <i>et al.</i> (2010)
Maíz	Yeso	8-20 según experimento	492-598-755 (3)	(4)	No evaluado	Pagani <i>et al.</i> (2009)

Notas: s: diferencias significativas ($p < 0.05$), ns: diferencias no significativas ($p > 0.05$), (E) cultivo con problemas de enfermedades, (1) 8 kg ha⁻¹ en trigo y 12 kg ha⁻¹ en soja 2º (2) para la mayoría de los sitios-año. (3) respuestas medias de distintas dosis evaluadas en diferentes experimentos. (4) variable según experimento.

nutrientes (Burzaco *et al.* 2009).

La experiencia internacional muestra resultados variables de respuesta a la fertilización con AE y también de la performance de este fertilizante comparado con fuentes solubles sulfatadas. Dentro de los factores que pueden incidir en la performance del AE podemos mencionar: tipo de cultivos, condiciones ambientales, momento y forma de aplicación, características físico-químicas del AE (Lefroy *et al.* 1994; Girma *et al.* 2005; Horowitz & Meurer 2007). En la Figura 2 se presentan los factores que influyen en la oxidación del AE y por lo tanto en la capacidad para proveer SO_4^{2-} a los cultivos.

De los factores presentados en la Figura 2, la granulometría del AE, la humedad y la temperatura edáfica, son los factores de mayor incidencia en la efectividad agronómica del AE. Si bien no es posible establecer un tamaño de partícula óptimo "universal" del AE utilizado en fertilización de cultivos, la evidencia experimental indica que una granulometría inferior a $200 \mu\text{m}$ determina una mayor velocidad de oxidación en el suelo (i.e. mayor reactividad del fertilizante). Tamaños de partículas más grandes limitan el acceso microbiano y el ritmo de oxidación, sobre todo cuando se presentan condiciones ambientales poco favorables como bajas temperaturas y/o escasa disponibilidad hídrica. En relación a esta temática, Boswell y Friesen (1993) realizaron una extensa caracterización y revisión de la aptitud de diferentes fuentes de AE para distintas regiones agro-ecológicas de Nueva Zelanda. Los autores concluyeron que el factor fundamental que regula el proceso de oxidación es el tamaño de las partículas del AE aplicado, recomendando la aplicación de fuentes de AE con granulometrías menores a 150 y $250 \mu\text{m}$, para condiciones climáticas frías y templadas, respectivamente,

y pluviometrías similares o mayores a las habituales en la Región Pampeana.

Por tratarse de procesos microbiológicos, la temperatura y humedad regulan directamente el proceso de oxidación del AE. Así, con temperaturas entre $10-40^\circ\text{C}$ la oxidación se incrementa en forma lineal mientras que a temperaturas menores a 4°C se torna muy lenta (Blair *et al.* 1993). La temperatura óptima para la oxidación varía según el tipo de microorganismo. Sin embargo, el rango de 25 a 40°C resulta adecuado para la mayoría de ellos. Suelos muy secos o excesivamente húmedos limitan la oxidación del AE, mientras que el óptimo de oxidación se obtiene con contenidos hídricos cercanos a capacidad de campo (Tisdale *et al.* 1993).

Existe escasa información experimental en la Región Pampeana sobre fertilización con AE en cultivos de grano, especialmente sobre la efectividad agronómica relativa de esta fuente comparada con fertilizantes azufrados sulfatados. Sin embargo, algunos experimentos recientes que evaluaron fuentes reactivas de AE, mostraron resultados promisorios. En este sentido, Tysko y Rodríguez (2006), detectaron respuestas significativas a la aplicación de una fuente de AE reactiva ("pre-tratado") en tres de cinco sitios experimentales de la Región Pampeana. El rango de respuestas fue de $400-550 \text{ kg ha}^{-1}$ con dosis de 24 y 40 kg ha^{-1} de S. Por otro lado, Torres Duggan *et al.* (2010) evaluaron la efectividad agronómica de una fuente de AE micronizada ($200 \mu\text{m}$) comparada con el sulfato de amonio en el cultivo de trigo en la Pampa Ondulada y Plana. Los autores observaron similar respuesta a la fertilización azufrada entre las fuentes, para la mayoría de los sitios-años. Asimismo, los autores reportaron similar eficiencia agronómica del S aplicado (incremento de rendimiento kg de S

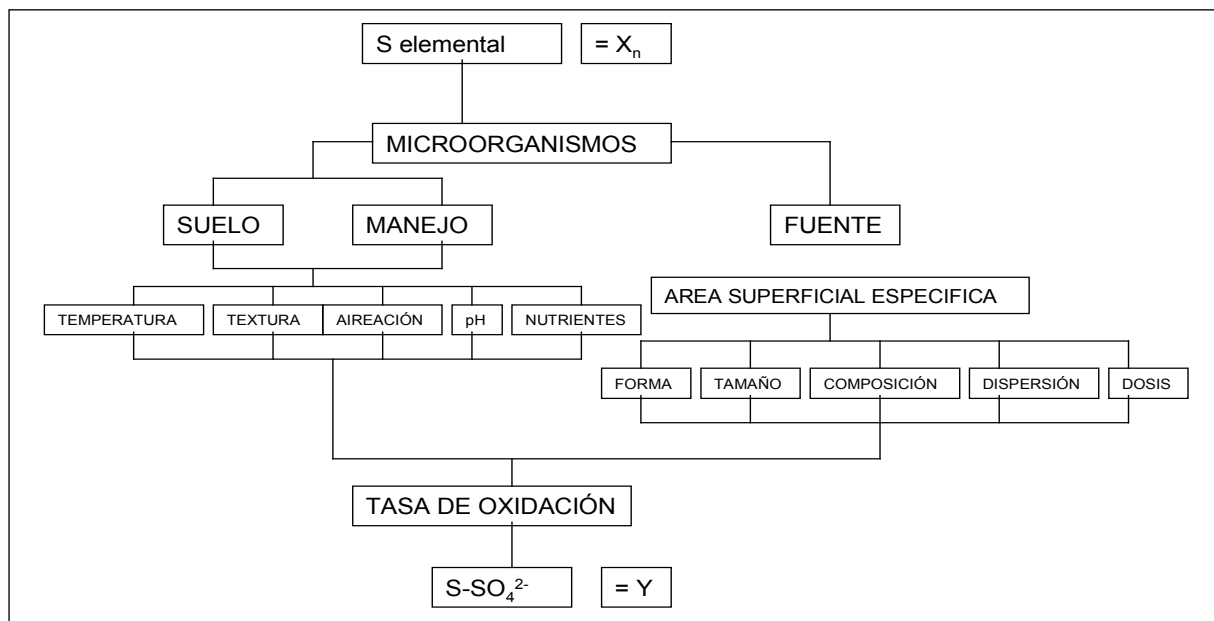


Figura 2. Diagrama de relaciones entre las variables independientes (X_n) y dependientes (Y) que inciden en la oxidación del azufre elemental a sulfato (Horowitz *et al.*, 2005).

aplicado⁻¹) entre las fuentes cuando analizaron el conjunto de experimentos (Figura 3).

Los resultados mencionados previamente de respuestas a la fertilización con AE en trigo en la Región Pampeana, indican, indirectamente, que existirían condiciones agro-ecológicas adecuadas para la oxidación del AE en el cultivo de trigo, por lo menos en el área de estudio donde se realizaron los ensayos. Estos resultados deben considerarse como preliminares y es necesario profundizar en la generación de información agronómica en estos temas. Sin embargo, estos resultados coinciden con investigaciones internacionales como las efectuadas por Friesen (1991), quienes observaron similar efectividad entre el AE (e.g. polvo y granulado) y fuentes sulfatadas como yeso y SPS en experimentos conducidos en climas semiáridos y subhúmedos de África.

En un sentido opuesto al mencionado previamente, Franzen y Grant (2008), reportaron que, para las condiciones de los "Great Plains" de EE.UU, los resultados de la fertilización azufrada son generalmente maximizados cuando se aplican fuentes sulfatadas solubles (sulfato de amonio, tiosulfato de amonio o yeso) en relación al AE, sin hacer referencias a la granulometría del mismo.

En países como Nueva Zelanda se dispone de recomendaciones de diferentes tipos de AE para distintas regiones agro-climáticas, basadas en un profundo conocimiento de los factores locales que regulan la oxidación del AE en diferentes tipos de suelo y clima.

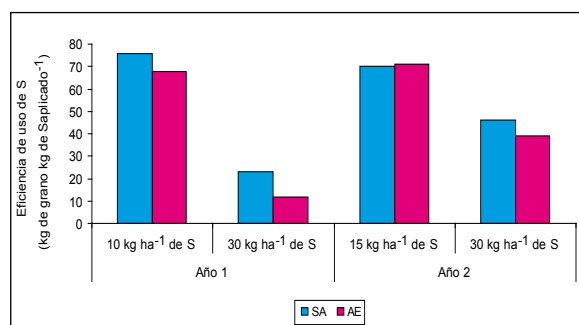


Figura 3. Eficiencia agronómica de uso de S (kg de grano kg de S aplicado⁻¹) para las fuentes evaluadas (SA: sulfato de amonio, AE: azufre elemental micronizado), para cada año y dosis de S aplicada. Las diferencias en eficiencias entre fuentes, dentro de cada dosis y año, no fueron estadísticamente significativas ($p > 0,05$). Torres Duggan *et al.* (2010)

Estos estudios, integran mediciones de variables físicas, químicas y biológicas (Boswell & Friesen, 1993). Este es un enfoque interesante para incorporar en proyectos de investigación en la Argentina.

Formas y momentos de aplicación de azufre en la rotación

Si bien el presente trabajo se refiere específicamente al manejo tecnológico del S en rotaciones de cultivos de la Región Pampeana, cabe destacar que este nutriente se debe aplicar en conjunto con los demás nutrientes limitantes del rendimiento, para optimizar el manejo nutricional de los cultivos. Existe evidencia experimental reciente en la Argentina sobre los beneficios de la fertilización balanceada bajo esquemas de Mejores Prácticas de Manejo de Nutrientes (MPMN) tanto en la productividad de los cultivos como en la fertilidad del suelo (García *et al.* 2006; García y Salvaggiotti, 2009).

A diferencia de lo que ocurre con N, existe escasa información experimental sobre evaluación de formas y momentos de aplicación de S en la Región Pampeana. Sin embargo, por tratarse de un nutriente móvil en el suelo y sumado a la evidencia de escasa capacidad de adsorción de SO_4^{2-} de los suelos de la región, se suele establecer una amplia gama de posibilidades de formas y momentos de aplicación del S dentro de los programas de fertilización. En la Tabla 3, se presentan las alternativas habituales de formas y momentos de aplicación de S en los planteos de producción.

Es importante recordar que, como para cualquier fertilizante, cuando el mismo se aplica al suelo, ya sea en cobertura total (e.g. voleo) o en bandas (e.g. "chorreado" con fertilizantes líquidos), es necesaria una lluvia y/o riego para que el fertilizante se incorpore en el suelo. Este aspecto puede resultar más crítico en aplicaciones en post-emergencia al macollaje de cereales de invierno, ya que en gran parte de la Región Pampeana (e.g. norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe), las precipitaciones son escasas comparado con la primavera o verano.

En el caso de que se fertilice junto con la semilla, es necesario considerar los posibles efectos fitotóxicos (Ciampitti *et al.* 2006). Experimentos realizados por Fontanetto *et al.* (2009). indican que el sulfato de amonio es la fuente azufrada más fitotóxica, seguida por la kieserita ($\text{SO}_4\text{Mg H}_2\text{O}$). Por el contrario, el

Tabla 3. Formas y momentos de aplicación de nutrientes más frecuentes en los agro-ecosistemas de Región Pampeana.

Momento de aplicación	Formas de aplicación	Nutrientes aplicados/tipo de fuentes
Antes de la siembra	Voleo, "chorreado" (fertilizantes líquidos), etc.	N o S (fertilizantes simples, complejos y/o mezclas físicas)
Siembra	Junto a la semilla, bandas superficiales o subsuperficiales (según sembradora).	N, P y S (fertilizantes simples, complejos y/o mezclas físicas)
Luego de la siembra	Voleo (fertilizantes sólidos), "chorreado" (fertilizantes líquidos), etc.	N y S (fertilizantes simples, complejos, mezclas y líquidos)

yeso no generó efectos fitotóxicos en dosis de uso frecuente en fertilización de cultivos (e.g. 100-130 kg ha⁻¹). Este fertilizante se caracteriza por presentar reacción neutra en el suelo.

La elección del momento de fertilización es la alternativa de manejo de mayor importancia para disminuir las vías de pérdida del sistema suelo-cultivo en los nutrientes móviles (Zubillaga, 2007). La estrategia de fertilización deberá sincronizar la oferta de nutrientes (e.g. suelo y fertilización) con la demanda del cultivo. El principal mecanismo de pérdida de S fuera del sistema suelo-cultivo, además de la remoción del S en los granos cosechados, es la lixiviación de SO₄²⁻, proceso sobre el cual se dispone de escasa información local. Sin embargo, haciendo una analogía con el N, este proceso podría darse en determinadas condiciones predisponentes: suelos con texturas gruesas, precipitaciones intensas, balance hídrico positivo, baja cobertura de rastrojos, etc. A diferencia de N, no se prevén riesgos ambientales por contaminación de aguas subterráneas con S.

El enfoque conceptual de las "4C" (en inglés las "4R") dentro del marco de las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) de nutrientes y fertilizantes resulta una herramienta muy útil para definir el manejo sustentable de fertilizantes dentro de los agro-ecosistemas (Roberts, 2010). Los componentes de las "4C" (dosis, fuente, momento y formas correctas) están interconectados, son interactivos y se deben basar en principios científicos provenientes de la investigación local. El marco de las MPM y de las "4C" implica que el productor puede definir distintas combinaciones de dosis, fertilizantes, formas y momentos de aplicación para maximizar su rendimiento y minimizar el impacto ambiental de la fertilización. Estas combinaciones posibles variarán de acuerdo con diferencias en las características edáficas, clima, rotaciones, sistemas de labranza, etc.

La evidencia de residualidad de la fertilización observada en los agro-ecosistemas pampeanos tanto para P como S, permite definir el manejo de los nutrientes a nivel de rotaciones o secuencias de cultivos. Así, investigaciones recientes realizadas en el doble cultivo trigo/soja 2° indicaron similares respuestas y eficiencias de uso de P y S cuando se aplicó una dosis equivalente al requerimiento total de estos nutrientes en el cultivo de trigo o en cada uno de los cultivos por separado (Salvagiotti *et al.* 2004). Estos resultados tienen importantes implicancias agronómicas y logísticas. Pudiendo aplicar la dosis completa de S de la secuencia trigo/soja 2° en el trigo se logran beneficios operativos en la siembra de soja de 2°. Esto se debe a que una siembra temprana de soja resulta imprescindible para no afectar negativamente el rendimiento potencial del cultivo. Sin embargo, estos resultados no deberían extrapolarse a suelos con características pedogenéticas, texturales y mineralógicas muy diferentes a las dominantes en la Región Pampeana como Vertisoles de E. Ríos y/o Uruguay donde la capacidad de adsorción de SO₄²⁻ podría ser mayor.

Consideraciones finales

En síntesis, los aspectos relevantes de la tecnología de la fertilización azufrada en la Región Pampeana pueden resumirse en los siguientes conceptos:

- La fertilización azufrada se convirtió en una práctica frecuente en los últimos años en la mayoría de los cultivos de la Región Pampeana.
- La información experimental reciente indica que los fertilizantes azufrados sulfatados, presentan similar respuesta en los cultivos.
- Se observan resultados promisorios de respuesta a la fertilización con fuentes de azufre elemental reactivo (e.g. micronizado, "pre-tratado", etc.) en trigo, indicando de un modo indirecto la existencia de condiciones favorables para la oxidación de esta fuente en las condiciones agro-ecológicas del norte de la Región Pampeana.
- La evidencia de residualidad de la fertilización con P y S en dobles cultivos como trigo/soja 2°, sumado a que se hayan observado similares respuestas entre aplicar la dosis total de estos nutrientes en el trigo o en cada cultivo, permite optimizar el manejo logístico en la soja de 2°, punto clave para maximizar el rendimiento potencial del cultivo.
- Algunas tendencias actuales en la utilización de fertilizantes son la continua adopción de mezclas físicas, fuentes azufradas, fertilizantes líquidos, entre otras.
- Existe una clara necesidad de incrementar la información disponible tanto en estadísticas de consumo de fertilizantes (a nivel de localidades y cultivos) como en información agronómica en manejo del S (e.g. química y dinámica del S en el sistema suelo-cultivo, efectividad agronómica del azufre elemental, formas y métodos de aplicación de fertilizantes sólidos y líquidos, etc.).

Bibliografía

- Boswell C.C. & D.K. Friesen.** 1993. Elemental sulfur fertilizers and their use on crops and pastures. *Fertilizer Research*. 35:127-149.
- Blair G.J., R.D.B. Lefroy, M. Dana & G.C. Anderson.** 1993. Modelling of sulphur oxidation from elemental sulfur. *Plant and Soil*. 155/156: 379-382.
- Burzaco J.O., I.A. Ciampitti y F.O. García.** 2009. Mejores Prácticas de Manejo para la Nutrición del Cultivo de Colza-Canola: una revisión. *Archivo Agronómico* #13. En: *Revista Informaciones Agronómicas* N°42. IPNI Cono Sur. Junio 28 p.
- Chien S.H., L.I. Prochnow & H. Cantarella.** 2009. Recent Developments of Fertilizer Production and Use to Improve Nutrient Efficiency and Minimize Environmental Impacts. Chapter 8 (268-322 p). *Advances in Agronomy*, Vol 2, 102. Elsevier INC. ISSN 0065-2113.
- Ciampitti I.A., H. Fontanetto, F.G. Micucci y F.O. García.** 2006. Manejo y ubicación del fertilizante junto con la semilla: efectos fitotóxicos. IPNI Cono Sur N°31. *Archivo Agronómico* N°10. www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf
- FAO,** 2004. Fertilizer use by crop in Argentina. Land and Plant Nutrition Management Service-Land and Water Development Division. Rome. 45 p

- Cordone G. y F. Martinez.** 2001. Efecto de la aplicación de distintas dosis de nitrógeno y azufre sobre el rendimiento de del doble cultivo trigo-soja. Para mejorar la producción 18-SOJA-EEA Oliveros, INTA.
- Fontanetto H., O. Keller, J. Albrecht, D. Gailevra, C. Negro y L. Belotti.** 2009. Manejo de la fertilización de la soja en la región pampeana norte y en el NOA argentino. En: Simposio Fertilidad 2009. Mejores Prácticas de Manejo para una Mayor Eficiencia en la Nutrición de los Cultivos. García, F. y Ciampitti, I (editores). ISBN 978-987-24977-1-2. 302 p.
- Franzen D. & C.A. Grant.** 2008. Sulfur response based on crop, source, and landscape position. Chapter 7. En: Sulfur: A missing link between Soils, Crops, and Nutrition. Joseph Jez (Editor). Agronomy Monograph N°50. ASA, CSSA, SSSA. 313 p.
- Friesen D.K.** 1991. Fate and efficiency of sulfur fertilizer applied to food crops in West Africa. Fertilizer Research. 29: 35-44.
- García F.O., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, G. Deza Marín y A. Berardo.** 2006. La red de nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe. Resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005. AACREA. Primera edición. ISBN 987-22576-7-1 32 p.
- García F.O. y F. Salvagioti.** 2009. Eficiencia de uso de nutrientes en Sistemas agrícolas del Cono Sur de Latinoamérica. En: Actas del XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 16 al 20 de noviembre de 2009. Simposio "Eficiencia de la Utilización de Nutrientes en Sistemas Agrícolas". 18p.
- Girma K., J. Mosali, K.W. Freeman & W.R. Raun.** 2005. Forage and Grain Yield Response to Applied Sulfur in Winter Wheat as Influenced by Source and Rate. Journal of Plant Nutrition. 28:1541-1553.
- Goos R.J., T.E. Fairlie.** 1998. Effect of ammonium thio-sulfate and liquid fertilizer droplet size on urea hydrolysis. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 522-524.
- Gowariker V., V.N. Krishnamurthy, S. Gowariker, M. Dhanorkkar & K. Paranjape.** 2009. The Fertilizer Encyclopedia. A John Wiley & Sons, INC. 861 pp
- Gutiérrez Boem F.H., P. Prystupa & G. Ferraris.** 2007. Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. Journal of Plant Nutrition, 30: 93-104.
- Horowitz N., E.J. Meurer & Enofre.** 2005. Uso de enxofre elemental como fertilizante. En : Informaciones Agronómicas. N°12. Dezembro. POTAFOS. 26. p.
- Horowitz N. & E.J. Meurer.** 2007. Relationship between soil attributes and elemental sulfur oxidation in 42 soil samples from Brazil. R.Bras.Ci.Solo, 31: 455-463.
- Lefroy R.D.B., M. Dana & G. Blair.** 1994. A glasshouse evaluation of sulfur fertilizer sources for crops and pastures. III: Soluble and non-soluble sulfur and phosphorus sources for pastures. Aust. J. Agric. Res., 45: 1525-37.
- Martinez, F., Cordone, G.** 1998. Resultados de ensayos de fertilización azufrada en soja. Para mejorar la Producción 8:53-57.
- Melgar R.** 2005. El mercado de fertilizantes en la Argentina y su relación con el sector agropecuario. Capítulo 25. En: Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. H. Echeverría y F. García (Editores). 525 p. .
- Melgar R.J y M. Torres Duggan.** 2005. Comercio y abastecimiento moderno de fertilizantes. Editorial Hemisferio Sur-INTA. 196 p.
- Ponce B. y M. Torres Duggan.** 2005. Yeso. En: Minerales para la agricultura en Latinoamérica. Hugo Nelson y Roberto Sarudianski (Eds.). CyTED.UNSAM-OLAMI. 574 p.
- Pagani A., H.E. Echeverría y H. Sainz Rozas, H.** 2009. Respuesta a nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz en diferentes ambientes de la provincia de Buenos Aires. Ciencia del Suelo. 27: 21-31
- Prochnow L. & G. Blair.** 2010. Sulphur status of soils of the Cerrado region of Brazil and the ability of important agricultural soils of Brazil to oxidize elemental S. 19th World Congress of Soil Science. Brisbane, Australia. 2010. Actas en DVD.
- 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 (Argentina) 24: 77-87.
- Roberts T. L.** 2010. Nutrient best management practices: Western perspectives on global nutrient stewardship. 19th World Congress of Soil Science. Brisbane, Australia. 2010. Actas en DVD.
- Rubio G., R.S. Lavado, M.A. Taboada, J.D. Scheiner, M.M. Zubillaga y G. Vrdoljak.** 1996. Ventajas de la fertilización combinada en colza-canola. Oleaginosos. 14: 16-19.
- Salvagioti F., G. Gerster, S. Bacigalupo, J. Castellarín, C. Galarza, N. González, V. Gudelj, O. Novello, H. Pedrol. y P. Vallone.** 2004. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. Ciencia del Suelo. 22: 92-101
- Soriano A, León R.J.C, O.E. Sala, R.S. Lavado, V.A. Deregibus, M.A. Cauhépe, O.A. Scaglia, C.A. Velázquez & J.H. Lemcoff.** 1991. Rio de la Plata grasslands. In: Coupland RT (Ed) Temperate Subhumid Grasslands Ecosystems of the World. Elsevier Scientific Publishing Co, Amsterdam. pp: 367-406.
- Tamini J.** 2008. Tendência da Adubação Fluida na América Do Sul. En: Informações Agronômicas N°123. Setembro. IPNI Brazil. 32 p
- Til A.R.** 2010. Sulphur sources. Chapter 10. In: Sulphur and Sustainable Agriculture. First edition. IFA, Paris, France. 70 pp.
- Tisdale S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton & J.L. Havlin.** 1993. Soil and fertilizer sulfur, calcium and magnesium. In: Soil Fertility and Fertilizers. Fifth edition. Macmillan Publishing Company. 634 p.
- Torres Duggan M, S. Gambaudo y O. Quaino.** 2006. Evaluación de fuentes azufradas en un Argiudol típico de la provincia de Santa Fe Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 18-22 de Septiembre de 2006. Salta-Jujuy. Actas en CD.
- Torres Duggan M. y M.B. Rodríguez.** 2009. Buenas prácticas de manejo de Fertilizantes azufrados: propiedades de las fuentes azufradas y su efectividad agronómica. En: Simposio de Fertilidad 2009. IPNI Cono Sur. García F.O. e I.A. Ciampitti (eds). 224-233 p.
- Torres Duggan M., M.B. Rodríguez, R.S. Lavado y R. Melgar.** 2010. Eficiencia agronómica del azufre elemental relativa a una fuente azufrada soluble en trigo en la Región Pampeana. Ciencia del Suelo. 28: 67-77.
- Tysko M. B. y M.B. Rodríguez.** 2006. Respuesta del doble cultivo trigo/soja a la fertilización azufrada. Revista Ciencia del Suelo (Argentina) 24: 139-146
- Uranga M.** 2007. Avances tecnológicos en fertilizantes líquidos. 13 pp. En: Simposio de Tecnología de la Fertilización. Rodríguez, M., Torres Duggan, M., Gambaudo, S. Editores. CD. ISBN 978-987-21419-8-1. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS).
- Zubillaga M.** 2007. Pautas para la elección del momento de fertilización de cultivos extensivos. En: Tecnología de la fertilización de cultivos extensivos de la Región Pampeana. P. Prystupa (Ed). Editorial Facultad de Agronomía (UBA). Cap. 5. 101-119 p. ■

CONGRESOS, CURSOS Y SIMPOSIOS

Esta sección presenta eventos futuros en el ámbito regional e internacional que pueden ser de interés de los lectores

1

IX Congreso Internacional de Pastizales - IRC2011

Lugar y fecha: Rosario, Argentina. 2-8 Abril 2011.
Información: www.irc2011.com.ar

5° Congreso de la Soja del Mercosur – Mercosur 2011

Lugar y fecha: Rosario, Argentina. 14-16 Septiembre 2011.
Información: www.acsoja.org.ar / mercosoja2011@acsoja.org.ar

Fertilidad 2011 – 10° Simposio de Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos

Lugar y fecha: Rosario, Santa Fe, Argentina. 18-19 Mayo 2011
Información: www.ipni.net/lasc – www.fertilizar.org.ar

XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Lugar y fecha: Mar del Plata, Argentina. Abril 2012.
Información: www.suelos.org.ar - <http://www.slcs.org.mx/>

Manual del Cultivo de Soja

- Como crece y se desarrolla el cultivo
- Manejo del cultivo
- La Nutrición del cultivo
- Identificación y manejo de las malezas
- Identificación y manejo de las enfermedades
- Reconocimiento y manejo práctico de plagas

Costo de la publicación: \$60 (sesenta pesos)

Costo de envío: \$30 (treinta pesos)

Para mayor información, comuníquese al 011-4798-9939/9988
o visite nuestra página de internet:

www.ipni.net/lasc



¡NUEVO! LA RED DE NUTRICIÓN DE LA REGIÓN CREA SUR DE SANTA FE: RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LOS PRIMEROS DIEZ AÑOS 2000-2009

La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009



Autores:

F. García; M. Boxler; J. Minteguiaga; R. Pozzi; L. Firpo; I. Ciampitti; A. Correndo; F. Bauschen; A. Berardo y N. Reussi Calvo



La Región Sur de Santa Fe del movimiento CREA, con la colaboración de IPNI Cono Sur y el auspicio de Agroservicios Pampeanos (ASP) implantó en la campaña 2000/01 una red de ensayos a largo plazo con un protocolo común. Los objetivos generales de la Red son:

1. Determinar respuestas (directas y residuales) de los cultivos dentro de la rotación (maíz, trigo, soja de primera y soja de segunda) a la aplicación de N, P y S en diferentes ambientes de la región
2. Evaluar metodologías de diagnóstico de la fertilización nitrogenada, fosfatada y azufrada
3. Evaluar deficiencias y respuestas potenciales a otros nutrientes: potasio (K), magnesio (Mg), boro (B), cobre (Cu) y zinc (Zn)
4. Conocer la evolución de los suelos bajo distintos esquemas de fertilización determinando parámetros relacionados con su calidad y productividad

Este informe presenta una síntesis y breve discusión de los principales resultados obtenidos en los primeros diez años de la Red de Nutrición (2000-09).

Autores: F. García; M. Boxler; J. Minteguiaga; R. Pozzi; L. Firpo; I. Ciampitti; A. Correndo; F. Bauschen; A. Berardo y N. Reussi Calvo

Para adquirirlo, por favor contacte a IPNI Cono Sur al Tel/Fax 011-47989939, o a Lpisauri@ipni.net

Precio del ejemplar: \$30 (treinta pesos)

Gastos de envío: \$ 6 (seis pesos)

Total a enviar: \$ 36