

Claves para optimizar la fertilización del cultivo de trigo

La fertilización es una de las prácticas con mayor incidencia sobre la productividad y calidad del trigo. Las claves para optimizar la nutrición del cultivo se sustentan en el diagnóstico de las deficiencias nutricionales y la correcta selección de los fertilizantes y métodos de aplicación. Se discuten algunos criterios e información disponible aplicables a los sistemas de producción de trigo de la Región Pampeana.

Ing. Agr. M.Sc Martín Torres Duggan

Tecnoagro S.R.L

1. Nutrientes limitantes de la productividad

Los principales nutrientes que limitan la productividad del trigo en la mayor parte de las zonas de producción de la Región Pampeana son el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S). Asimismo, también existen algunos antecedentes de respuestas a algunos micronutrientes como zinc (Zn), boro (B) y cloro (Cl).

El manejo moderno de nutrientes requiere de la integración de la fertilización con los demás aspectos del manejo del cultivo (e.g. selección de genotipos, densidad y fechas de siembra, manejo integrado de plagas y enfermedades). La determinación de la dosis de nutrientes a aplicar cada lote o unidad de manejo se debe basar en un adecuado diagnóstico de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, a través de un correcto muestreo de suelos y análisis de suelos. Una vez realizado el diagnóstico, se deben establecer los fertilizantes, momentos y formas de aplicación de los mismos (tecnología de fertilización). Es importante tener claro que estos aspectos no son fijos, y es posible definir diferentes combinaciones de tipo de fertilizante, momento, y forma de aplicación. Lo importante es que dicho plan de fertilización permita maximizar la productividad del cultivo, y minimizar el impacto sobre el ambiente. Para ello, la estrategia definida se debe basar en principios científicos, utilizando la información disponible en cada zona.

2. Diagnóstico de deficiencias nutricionales

2.1 Nitrógeno

Si bien existen diferentes criterios y aproximaciones para diagnosticar las deficiencias de N, los modelos de fertilización nitrogenada más utilizados en los sistemas de producción son aquellos que relacionan el rendimiento con el N disponible (suelo + fertilizante). La dosis surge de restar el N objetivo el N disponible a la siembra obtenidos mediante análisis de suelo (0-60 cm). Existen diferentes modelos disponibles en distintas regiones, que no serán tratados en este artículo. A modo de ejemplo se presenta en la Figura 1 un modelo de fertilización generado en la red de experimentos del CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP que integra 33 sitios de experimentación en cinco campañas.

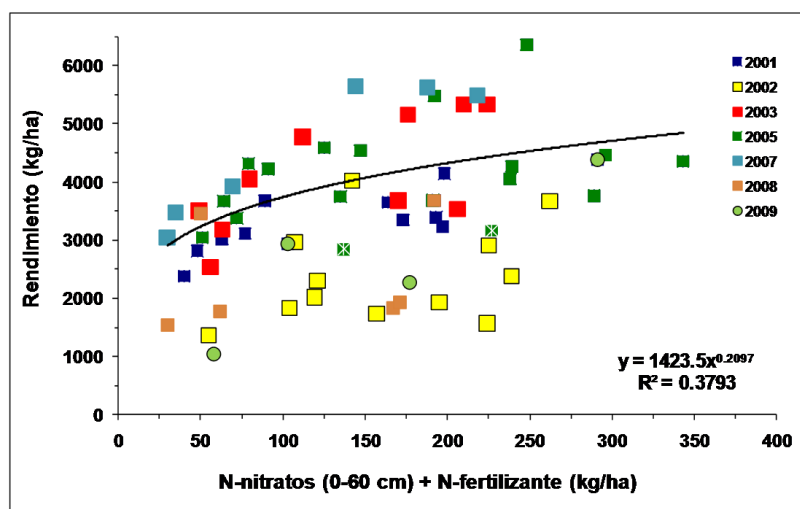


Figura 1. Rendimiento de trigo y disponibilidad de N (suelo + fertilizante). Fuente: García *et al.* (2010)

Cuando se seleccionan modelos de fertilización, es importante priorizar aquellos obtenidos a partir de varios sitios experimentales y campañas (mayor número de casos), que son más estables ante el agregado de nuevos datos experimentales y por consiguiente son más consistentes para usar en la toma de decisiones.

Los modelos de simulación agronómica son también herramientas muy interesantes. Recientemente se lanzó el programa Triguero 2.0, herramienta que permite evaluar la fertilización nitrogenada en diferentes núcleos de calibración realizados en las principales zonas trigueras. El modelo permite simular situaciones en diferentes series de suelo, condición hídrica, y contempla también la incidencia de enfermedades, disponibilidad de P extractable en el suelo (P Bray 1, 0-20 cm) y el deterioro por S en el ambiente de producción (Figura 2). El programa también ofrece un análisis económico de la fertilización nitrogenada, según el costo de la unidad de N y del grano, como así también la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad con dichas variables.



Figura 2. Rendimiento de trigo en función de la disponibilidad de N (suelo + fertilizante) del programa Triguero 2.0. para el núcleo (zona) de Venado Tuerto, serie de suelo Venado Tuerto, ciclo intermedio largo con potencial intermedio, suelo húmedo, limitaciones por P. Para esta simulación no se consideraron limitaciones por S o enfermedades.

2.2. Fósforo

La mayor parte de los modelos de fertilización fosfatada desarrollados en el país consideran el contenido de P extractable en el suelo a la siembra (P Bray 1, 0-20 cm) y el rendimiento esperado como base para determinar la dosis de P. También se considera el criterio de manejo del P (e.g. criterio de suficiencia; reposición o enriquecimiento del P extractable y reposición). El límite crítico del cultivo de trigo se ubica en 15-20 ppm (Figura 3).

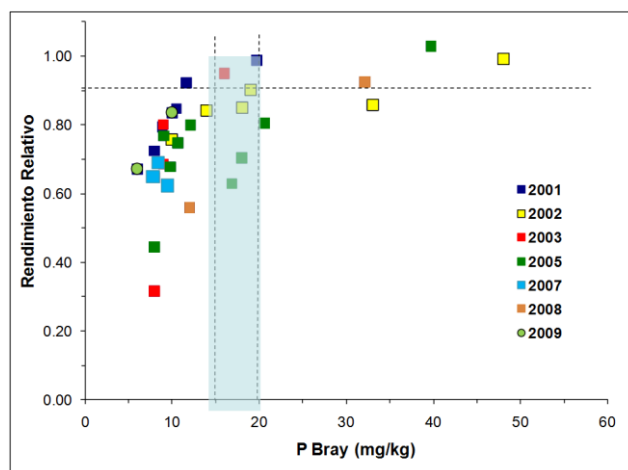


Figura 3. Rendimiento de trigo en función de la disponibilidad de P extractable (P Bray 1, 0-20 cm). Fuente: García *et al.* (2010).

Actualmente la mayor parte de zonas trigueras presentan contenidos deficientes de P extractable, tal como lo demuestra un reciente relevamiento efectuado a partir del análisis de 34447 muestras de suelos (Figura 4).

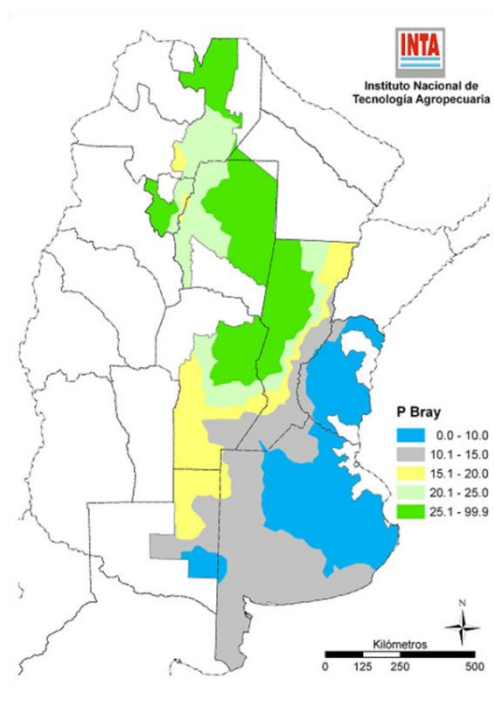


Figura 4. Concentración de P extractable (P Bray 1) en el suelo (0-20 cm) en la Región Pampeana y extra Pampeana. Fuente: Sainz Rozas *et al.* (2011).

En la mayor parte de los sistemas de producción de granos de la Región Pampeana el régimen de tenencia de la tierra dominante es el arrendamiento de corto plazo. En este tipo de sistemas prevalecen planteos de producción con monocultivo de soja, donde el objetivo es minimizar el

riesgo del negocio. Los criterios de fertilización fosfatada más utilizados en este tipo de contexto son el de suficiencia, donde se aplican dosis de P que permiten cubrir la demanda inmediata de P del cultivo. Los criterios o filosofía de fertilización fosfatada de reposición o de mejora de la disponibilidad de P y reposición se adaptan mejor a sistemas de tenencia de las tierras más estables, como los arrendamientos o aparcerías de largo plazo, donde es posible establecer cláusulas para el adecuado manejo y conservación del recurso suelo.

En agro-ecosistemas donde se utilizan criterio de fertilización por reposición de P (en suelos bien provistos en P extractable) o de mejora (enriquecimiento) y reposición de P (cuando se implementan estrategias de mejoras donde se aplican dosis de P más elevadas que en reposición) se observan mejoras en la eficiencia global del sistema (mayor aprovechamiento de recursos edáficos), logrando rendimientos más elevados en el mediano y largo plazo. Para diseñar estrategias de mejora en la disponibilidad de P extractable se debe definir:

- ✓ Contenido actual de P extractable en los diferentes lotes o ambientes. Esta información se obtiene mediante el muestreo y análisis de suelos.
- ✓ Objetivo de P extractable a alcanzar luego del plan de mejora (usualmente 15-20 ppm de P Bray 1)
- ✓ Cantidad de P necesaria para incrementar 1 ppm de P extractable (P Bray 1, 0-20 cm). Se dispone de trabajos experimentales locales que proveen esta información. A modo orientativo, estos valores pueden ser de 2-3 kg de P/ppm en suelos arenosos y 4-5 kg/ppm en suelos con texturas medias.
- ✓ Período en el cual se desea alcanzar el objetivo de P extractable (decisión que depende de factores empresariales, económicos y financieros).

Tanto en la etapa de mejora de la disponibilidad del P extractable (balance de $P > 0$) como en la fase de reposición (balance de $P \sim 0$) es importante realizar un monitoreo de la evolución del P extractable en el suelo, como base a para eventualmente realizar modificaciones o ajustes en el programa de fertilización.

2.3. Azufre

Los análisis de suelos se utilizan frecuentemente para predecir la disponibilidad de S para los cultivos. Sin embargo, en la Argentina la mayor parte de las calibraciones realizadas no han detectado correlaciones significativas entre las respuestas y el contenido de sulfatos en el suelo, independientemente del extractante utilizado (e.g. fosfato de calcio, acetato de amonio y fosfato de potasio), salvo algunas excepciones de redes de ensayos de larga duración como el realizado por el CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP, donde detectaron umbrales preliminares de 10 ppm de azufre en forma de sulfatos. Este valor crítico es mencionado en la literatura internacional como referencia en diferentes países del mundo. Debido a las dificultades para predecir la respuesta al agregado de S en base a la concentración de SO_4^{2-} en el suelo, además de ésta variable se tienen en cuenta otros factores o condiciones ambientales del sitio de producción:

- ✓ Antecedentes de respuestas a S en la zona
- ✓ Respuestas a otros nutrientes como N y P
- ✓ Años de agricultura
- ✓ Nivel de degradación y/o años de agricultura

- ✓ Productividad de los cultivos (i.e. demanda de S)
- ✓ Posibles aportes de S en napas y/o agua de riego,
- ✓ Contenido de sulfatos en el suelo en la capa superficial (10 ppm de S-SO_4^{2-} , referencia orientativa)

El nivel de productividad esperado en el cultivo es importante ya que, cuando el rendimientos esperado es bajo, el suelo puede proveer S para cubrir la demanda de S del cultivo. Esto explica en parte la menor frecuencia de respuestas a la aplicación de S en sistemas de secano ubicados en áreas sub-húmedas o semiáridas. En estos ambientes, donde la disponibilidad hídrica constituye el principal factor limitante de la productividad de los cultivos y se alcanzan rendimientos medios más bajos (i.e. menor demanda de S) la frecuencia y magnitud de las respuestas a S pueden ser más bajas que en la porción húmeda de la Región Pampeana. Asimismo, en dichas regiones los suelos son arenosos y presentan mayores relaciones MO/arcilla que en la porción húmeda de la Región Pampeana, asociadas con una mayor capacidad de mineralización de N y S durante el ciclo de los cultivos.

Recientemente se han publicado algunos resultados interesantes sobre diagnóstico de deficiencias de S basadas en el análisis de tejido en el cultivo de trigo (e.g. relación N:S en planta entera en el estadio Z31) o evaluaciones del índice de verdor en el canopeo de maíz en el estadio de V6-V14 (Echeverría *et al.*, 2011; Pagani & Echeverría, 2012). Considerando que el S aplicado puede impactar en el rendimiento en estadios fenológicos más tardíos que el N, existe una mayor posibilidad logística para efectuar el diagnóstico y la recomendación de fertilización azufrada dentro del mismo ciclo del cultivo.

Más allá de las dificultades mencionadas para predecir las respuestas al agregado de S, es importante tener presente que las deficiencias de S se encuentran muy generalizadas en la Región Pampeana, y en general las respuestas al agregado de S son elevadas y rentables. Esto se puede comprobar teniendo en cuenta que, en la mayoría de los casos, las eficiencias de uso de S (EUS; incremento en el rendimiento por cada kg de S aplicado), superan las relaciones de precios entre los granos y el costo de la unidad de S. Esta relación de precios fueron de 9, 10 y 5 kg grano kg S^{-1} de trigo, maíz y soja durante el período 2004-2011 (Figura 1).

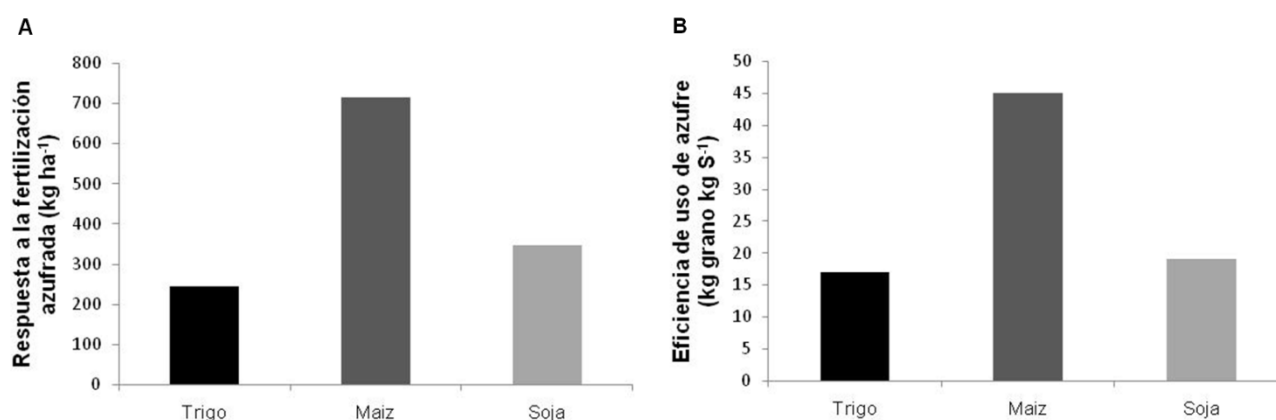


Figura 5. Respuesta a la fertilización azufrada (A) y eficiencia de uso de azufre (B) en cultivos de grano de la Región Pampeana (adaptado de Álvarez & Steinbach, 2012).

Las dosis de máxima respuesta en cultivos de grano se ubican en el rango de 15-20 kg ha de S/ha.

¿Cuáles son los beneficios de inocular el trigo con *Azospirillum sp.*?

En los últimos años se observa un interés renovado en tratamientos de semillas de cereales (principalmente maíz y trigo) con bacterias del género *Azospirillum*. También se evidencia un mayor grado de profesionalización de las empresas proveedoras y de la calidad de los inoculantes.

Si bien es conocida la capacidad de fijación libre de N de *Azospirillum sp.* actualmente se reconocen otros mecanismos de promoción vegetal más importantes (Díaz Zorita *et al.* 2013). Se destaca la producción y liberación de hormonas promotoras del crecimiento radical, que aumentan la biomasa de raíces y el acceso a recursos como agua y nutrientes. En la Figura 6 se presenta un sumario de 10 años de experimentos de campo realizados en 550 sitios por Novozymes.

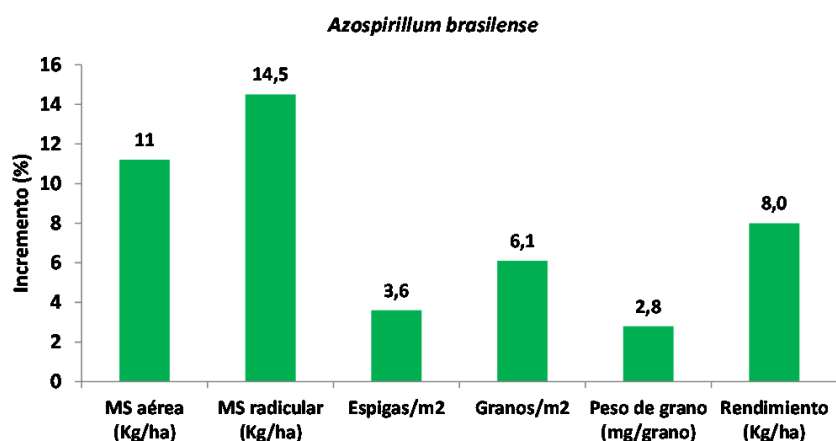


Figura 6. Incidencia de la inoculación con *Azospirillum brasilense* sobre diferentes componentes de la productividad del trigo (Díaz zorita *et al.* 2013).

Es importante destacar que este tipo de tratamientos biológicos no reemplazan a la fertilización convencional, sino que la complementa. Asimismo, se ha observado que el incremento en biomasa de granos es mayor en condiciones ambientales desfavorables como una menor oferta hídrica. Esto se debe a que estos promotores del crecimiento impactan principalmente en la biomasa de raíces, permitiendo al cultivo aprovechar una mayor cantidad de agua y nutrientes disponibles en el suelo.

2.4. Micronutrientes

A pesar de la intensa experimentación que se está llevando a cabo en diferentes ámbitos científicos y técnicos, no se dispone actualmente de modelos de fertilización calibrados regionalmente para la aplicación de micronutrientes. Por ello es importante analizar los antecedentes zonales y también realizar evaluaciones simples a campo (franjas con y sin aplicación de micronutrientes) para explorar las respuestas en el propio sitio de producción. Se resume a continuación algunos antecedentes recientes de fertilización con micronutrientes en el cultivo de trigo:

Cloruros

Si bien se han observado respuestas a cloruros en trigo en la Región Pampeana, las respuestas son relativamente pequeñas, que sumado al costo de los fertilizantes potásicos, limitan la adopción de la práctica. Se mencionan rangos de suficiencia orientativos de 30-60 kg/ha de Cl (0-60 cm) determinados a la siembra.

Zinc

En los últimos años se observa un interés renovado en la evaluación de las respuestas al agregado de Zn, posiblemente estimulado por los antecedentes recientes en maíz, donde la frecuencia y magnitud de las respuestas han aumentado, existiendo inclusive algunos umbrales preliminares para diagnosticar deficiencias. Sin embargo, en el cultivo de trigo las evaluaciones se encuentran en fase exploratoria, con algunos resultados promisorios. Por ejemplo se han observado respuestas medias de 525 kg/ha de grano en cinco experimentos realizados en tres campañas en la Pampa Ondulada, donde se aplicó $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn utilizando como fuente soluciones líquidas formuladas en base a UAN, tiosulfato de amonio y sulfato de Zn ("Sol-mix-Zn")(Juan Urrutia, com.pers).

Además de las evaluaciones de respuestas a cloruros y a Zn, existen algunos antecedentes de respuestas a la aplicación foliar de B en estadios reproductivos del trigo, pero no se disponen de modelos predictivos de las respuestas.

3. Selección de fertilizantes y métodos de aplicación

3.1. Nitrógeno

En términos generales no se han observado diferencias considerables entre los diferentes fertilizantes nitrogenados en cuanto a su capacidad de proveer nitrógeno (N) a los cultivos. Sin embargo, es importante tener presente que existe una gran diversidad de condiciones agro-ecológicas en las diferentes zonas trigueras, donde factores como el tipo de suelo y/o las condiciones ambientales imperantes pueden originar pérdidas de N del sistema suelo-cultivo y diferencias en la eficiencia de uso del N (EUN).

En las zonas trigueras ubicadas en el norte del país y/o en el Litoral, donde las temperaturas medias durante el ciclo del cultivo son más elevadas, aumentan la probabilidad de ocurrencia de pérdidas de N por volatilización de amoníaco cuando se aplica urea al voleo. Asimismo, la cobertura de rastrojos puede contribuir a generar procesos de inmovilización de N y pérdidas por volatilización de amoníaco. En este tipo de ambientes, la utilización de fuentes con baja volatilización (e.g. UAN), que no volatilizan (e.g. CAN) o el uso de inhibidores de la ureasa (e.g. NBPT) son estrategias para incrementar la EUN. A diferencia de lo mencionado para las zonas trigueras ubicadas en el norte del país o el Litoral, en la región triguera tradicional (sur de Buenos Aires), las pérdidas por volatilización de amoníaco son bajas, aunque se han reportado pérdidas por lixiviación leves asociadas a la mayor frecuencia de lluvias entre siembra y macollaje, que es un rasgo climático de dicha región.

También es posible que se presenten pérdidas por lavado (lixiviación de nitratos) en suelos con texturas arenosas, cuando se presentan eventos de precipitaciones intensas en estadios tempranos del ciclo del cultivo posteriores a la aplicación del fertilizante. Hay pocos estudios sobre este mecanismo de pérdida en trigo, y si bien en general se asume que las pérdidas son bajas, es necesario considerar los factores predisponentes mencionados antes en el propio sistema de producción.

En cuanto al manejo de los momentos de aplicación, es importante tener presente que la fertilización puede tener dos objetivos posibles: (1) aumentar el rendimiento (el más habitual) y (2) mejorar el contenido de proteína en grano. La fertilización de base (realizada en la siembra y/o en

macollaje), impacta principalmente en el rendimiento en grano, dependiendo de la disponibilidad de N en el suelo y el nivel de rendimiento. La aplicación del N a la siembra garantiza una temprana disponibilidad del nutriente. De acuerdo con la información experimental disponible en la zona húmeda de la Región Pampeana, el fraccionamiento de la dosis entre siembra y macollaje no constituye una ventaja en términos de eficiencia agronómica, aunque puede ser una opción en casos donde se quiera reducir el riesgo de la práctica de fertilización en contextos de incertidumbre en cuanto al escenario climático y su influencia sobre la EUN. En las zonas trigueras ubicadas en la Pampa Arenosa y/o en la Región Semiárida Pampeana, la decisión del momento de aplicación del N se debe analizar teniendo en cuenta la distribución de lluvias para optimizar la interacción entre el N y el agua disponible. Asimismo, en las regiones trigueras del sud-este de Buenos Aires, se ha reportado mayor EUN en aplicaciones en macollaje respecto de las efectuadas a la siembra, debido a la ocurrencia de lluvias entre la siembra y el macollaje, que promueven pérdidas por lavado, y en menor medida, desnitrificación.

En casos donde el objetivo de la fertilización nitrogenada sea aumentar el rendimiento y mejorar el contenido de proteínas en el grano, la fertilización foliar en el estadio de hoja bandera y/o antesis representa el modo más efectivo para hacerlo (Tabla 1).

Tabla 1. Datos medios de experimentos realizados en la Región Pampeana en los que se comparó concentración de proteína en tratamientos fertilizados y no fertilizados con nitrógeno en distintos momentos del ciclo del cultivo.

Momento de fertilización		Datos (n)	Dosis media (kg N/ ha)	Proteína testigo (%)	Proteína fertilizado (%)	Incremento proteína/dosis (% proteína/kg de N)
Siembra	y/o	131	67	10,7	11,7	0,016
macollaje						
Hoja	bandera-	104	32	10,6	11,5	0,032
floración						

Fuente: Álvarez y Steinbach, 2012

En estos experimentos, el N se aplicó utilizando soluciones de urea foliar con bajo biuret, en dosis variables (20-35 kg/ha de N).

3.2. Fósforo

Los principales fertilizantes fosfatados utilizados en la Argentina son fosfatos de amonio (MAP, DAP) y los superfosfatos de calcio (SFS, SFT). Más recientemente, se observa un creciente interés y experimentación con fuentes fosfatadas líquidas, en especial soluciones formuladas en base a ácido fosfórico. En términos generales, no se han observado diferencias en eficiencia de uso de fósforo (EUP) entre los diferentes fertilizantes fosfatados, independientemente de su formulación (sólida, fluida).

El momento tradicional de aplicación del P es a la siembra, por debajo y al costado de la línea de siembra. Sin embargo, en los últimos años se realizaron diferentes evaluaciones tendientes a evaluar la efectividad de diferentes métodos de colocación (e.g. voleo anticipado vs. bandas a la siembra). En casos muy especiales, como suelos en siembra directa de varios años, bien rotados, contenidos medios de P extractable, y dosis elevada de aplicación, se han reportado similares EUP entre aplicaciones al voleo anticipadas a la siembra y la aplicación tradicional en bandas a la siembra.

3.3. Azufre

Actualmente se dispone en el mercado de una variada oferta de fertilizantes azufrados. Las fuentes más utilizadas son el tiosulfato de amonio (fertilizante líquidos que se comercializa en mezclas con UAN), yeso (sulfato de calcio bihidratado) y superfosfato simple de calcio. Más recientemente comenzaron a comercializarse mezclas químicas NPS y NPSZn que tienen la característica de presentar diferentes formas químicas de azufre (S), la mitad como sulfatos y la otra mitad como azufre elemental micronizado (AEM). En términos generales, no se han observado diferencias significativas en efectividad (respuesta en grano) ni en la eficiencia de uso del azufre (EUS) entre fertilizantes azufrados que contienen el azufre en forma de sulfatos. Todas presentan similar capacidad de proveer S disponible para el cultivo.

Con respecto a la performance de los fertilizantes que incluyen AEM, la información experimental es más escasa, pero es posible definir algunos principios y recomendaciones de manejo. La oxidación del azufre elemental depende principalmente de las propiedades físicas de la fuente utilizada (tamaño de partícula y capacidad de dispersión en el suelo) y de factores ambientales, principalmente temperatura y humedad edáfica. Estudios recientes realizados en la Región Pampeana central indican similar performance agronómica del AEM y fuentes sulfatadas, que indicarían de un modo indirecto, adecuadas condiciones termo-hídricas para la oxidación del AEM (Torres Duggan *et al.* 2012). Sin embargo, en sitios con baja disponibilidad hídrica posteriores a la aplicación, la efectividad de fertilizantes sulfatados fue mayor que el AEM, posiblemente debido a una reducción de la tasa de oxidación del azufre elemental. En el sur de la Región Pampeana, la menor temperatura imperante a la siembra y/ en estadios vegetativos tempranos, podrían reducir la oxidación del azufre elemental, pero hay muy poca información publicada al respecto.

Los fertilizantes azufrados sulfatados se pueden aplicar en una amplia gama de posibilidades de momentos y formas de aplicación, sin esperar diferencias marcadas en EUS entre los diferentes fertilizantes (e.g. yeso, sulfato de amonio, tiosulfato de amonio) y momentos de aplicación (e.g. siembra, macollaje). Así, es posible realizar aplicaciones a la siembra o en macollaje, utilizando fertilizantes sólidos y/o líquidos.

3.4. Momentos de aplicación de fósforo y azufre en secuencias trigo/soja de segunda

De acuerdo a numerosos ensayos realizados en la Región Pampeana en la secuencia trigo/soja 2º, no se han observado diferencias significativas en la EUP y en la EUS entre aplicar estos nutrientes a la siembra de cada cultivo (trigo y soja) o aplicar toda la necesidad de P y S del doble cultivo (trigo + soja 2º) en el trigo, aprovechando los efectos residuales de la fertilización. Así, aplicando la necesidad de P y S en el trigo (a la siembra o al voleo anticipada a la misma), se evita el manipuleo de fertilizantes en la soja de segunda, mejorando la eficiencia de siembra en este cultivo, donde la demora en la fecha de siembra determina pérdidas de rendimiento. Sin embargo, es importante considerar que la magnitud de la residualidad puede ser menor en suelos con muy alta capacidad de retención de fosfatos como los Vertisoles y/o Argiudoles vérticos (e.g. Entre Ríos, norte de Buenos Aires, Uruguay). En este tipo de suelos, la decisión de aplicar los nutrientes en el trigo o en cada cultivo (trigo y soja), dependerá del tipo de suelo, capacidad de retención de fosfatos (asociado al contenido y tipo de arcillas) y la dosis de aplicación.

3.5. Micronutrientes

Cloruros

Existen diferentes fuentes de cloruros disponibles (cloruro de potasio, cloruro de amonio, cloruro de calcio), con similar efectividad agronómica (Prystupa *et al.* 2012). De acuerdo con la

información disponible a nivel internacional, los cloruros se aplican a la siembra al voleo, debido a la movilidad de los mismos en el suelo.

Zinc

Las fuentes de Zn más utilizadas en el mercado local son productos para aplicación foliar (e.g. quelatos, sulfatos, etc.) o al suelo. En aplicación al suelo comenzaron a difundirse hace unos años las mezclas químicas (e.g. fuentes NPSZn). Asimismo, comenzaron a ofrecerse formulaciones de UAN o mezclas de UAN con tiosulfato de amonio que incluyen micronutrientes en sus formulaciones (e.g. “Sol Mix Zn”), cuya adopción también se ha incrementando en los últimos tiempos. Las mezclas químicas permiten una mejor distribución y cobertura (concentración del micronutriente por unidad de superficie) en el suelo comparado con las mezclas físicas (Prystupa *et al.* 2012). Es importante tener presente que las dosis de aplicación de los micronutrientes son bajas y es muy complicado lograr una adecuada distribución utilizando mezclas físicas.

Las aplicaciones de Zn se pueden efectuar desde la siembra hasta fin de macollaje, y existen pocos estudios que hayan estudiado los efectos de momentos y formas de colocación de este nutriente en los agro-ecosistemas pampeanos.

4. Conclusiones

La fertilización de trigo es una práctica de gran impacto productivo. Las claves para diseñar estrategias de fertilización se deben basar en un correcto diagnóstico, para luego seleccionar los fertilizantes y métodos de aplicación más adecuados para el sistema de producción. El N, P y S son los nutrientes que limitan en mayor medida la productividad del cultivo, existiendo una gran cantidad de información disponible para la toma de decisiones.

La información experimental sobre micronutrientes si bien es significativa, no se dispone de un cuerpo de conocimiento sobre el diagnóstico de las deficiencias para las condiciones de la Región Pampeana y sus subregiones. Sin embargo, es interesante explorar las respuestas a cloruros y Zn donde se han reportado situaciones de respuesta en diferentes zonas de producción.

Los tratamientos biológicos como la inoculación con *Azospirillum brasilense* representa una tecnología valiosa para incrementar el crecimiento de las raíces (donde ocurre el mayor efecto) y también en la biomasa de grano (con mejoras medias del 8%) y sobre todo para mejorar la productividad en contextos de estrés ambiental (e.g. deficiencias hídricas), frecuentes en los agro-ecosistemas pampeanos.

5. Bibliografía