

2° NUTRICIÓN DE CULTIVOS Y PASTURAS

Elaborado por Angel Berardo y Nahuel Reussi Calvo

PAUTAS PARA EL MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN EN TRIGO
Introducción:

El trigo es el cultivo de invierno más importante de los sistemas productivos de la Argentina con una superficie sembrada que fluctúa entre 5,5 y 6,5 millones de hectáreas y una producción variable entre 14 y 16 millones de toneladas (SAGPyA, 2009). El manejo inadecuado de la nutrición del cultivo constituye uno de los principales factores que limitan la producción del mismo en varias de las regiones trigueras argentinas. El nitrógeno (N) y el fósforo (P) son los nutrientes que con mayor frecuencia limitan el rendimiento del trigo, sin embargo, en las últimas décadas la intensificación de la agricultura sumado a la falta de reposición de azufre (S) vía fertilizantes han generado una disminución en la disponibilidad de S en los suelos, y por lo tanto, es cada vez más frecuente determinar respuesta en rendimiento frente al agregado de dicho nutriente. En la Tabla 1, se indican los requerimientos nutricionales de los cultivos y se puede observar que los de P y S son similares (aproximadamente 4-5 kg de nutriente ton^{-1}), mientras que los de N son entre 6-7 veces superiores (30-35 kg N tn^{-1}).

Tabla 1. Requerimientos nutricionales (kg de nutriente para producir una tonelada de grano), extracción (kg de nutriente en una tonelada de grano) e índice de cosecha de nutriente (proporción del total de nutriente absorbido que está presente en el grano) para el cultivo de trigo.

Nutriente	Requerimiento (kg ton^{-1})	Índice de cosecha	Extracción (kg ton^{-1})
Nitrógeno	25-30	0.70	20
Fósforo	4-5	0.80	3.5
Azufre	3-4	0.35	1.2
Potasio	19-20	0.20	5
Calcio	3	0.14	0.4
Magnesio	3	0.50	1.5
	g ton^{-1}		g ton^{-1}
Boro	25		2-5
Cobre	10	0.75	7.5
Hierro	137		
Manganeso	70	0.36	25.2
Zinc	52	0.44	22.9

Adaptado: García y Berardo (2005).

La acumulación de los nutrientes en el trigo sigue el mismo comportamiento que en otros cultivos, el cual se caracteriza por un adelantamiento de la absorción de los mismos respecto a la materia seca (Figura 1 y 2). A modo de ejemplo, la acumulación de N en floración del trigo representa entre 70 al 75 % de la acumulación total a madurez

fisiológica, mientras que para la materia seca es de solo el 40-45% del total. Luego de dicho período, comienza el proceso de removilización del N desde raíces, tallos y hojas hacia las espigas y los granos, el cual puede cubrir entre el 50 al 100% de N acumulado en grano a cosecha. Para el caso de P, el cultivo absorbe hasta antesis entre el 75-85% del total de dicho nutriente que tendrá en madurez fisiológica, mientras que para S, si bien la información es escasa la acumulación pre-antesis representaría el 50-60% del total de S acumulado por el cultivo. El conocimiento de la dinámica de acumulación de los distintos nutrientes por los cultivos es un aspecto clave al momento de definir la estrategia de fertilización, o sea el momento, la fuente y la dosis a utilizar, con el objetivo de maximizar la eficiencia de utilizaciones de dichos nutrientes.

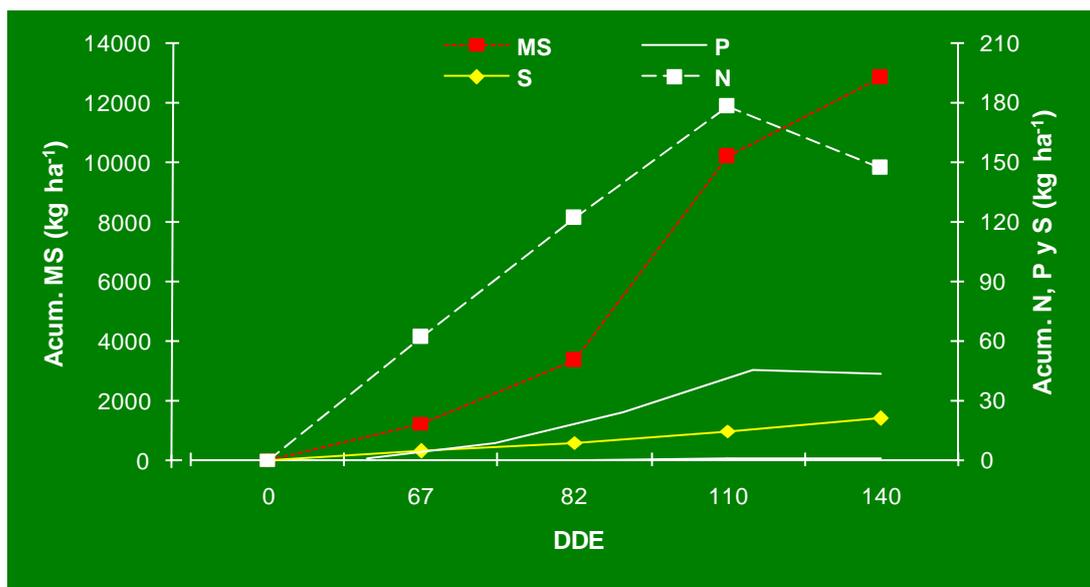


Figura 1. Acumulación de materia seca (MS), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) en función de los días desde la emergencia (DDE) del cultivo de trigo. (Fuente: Reussi Calvo, 2005).

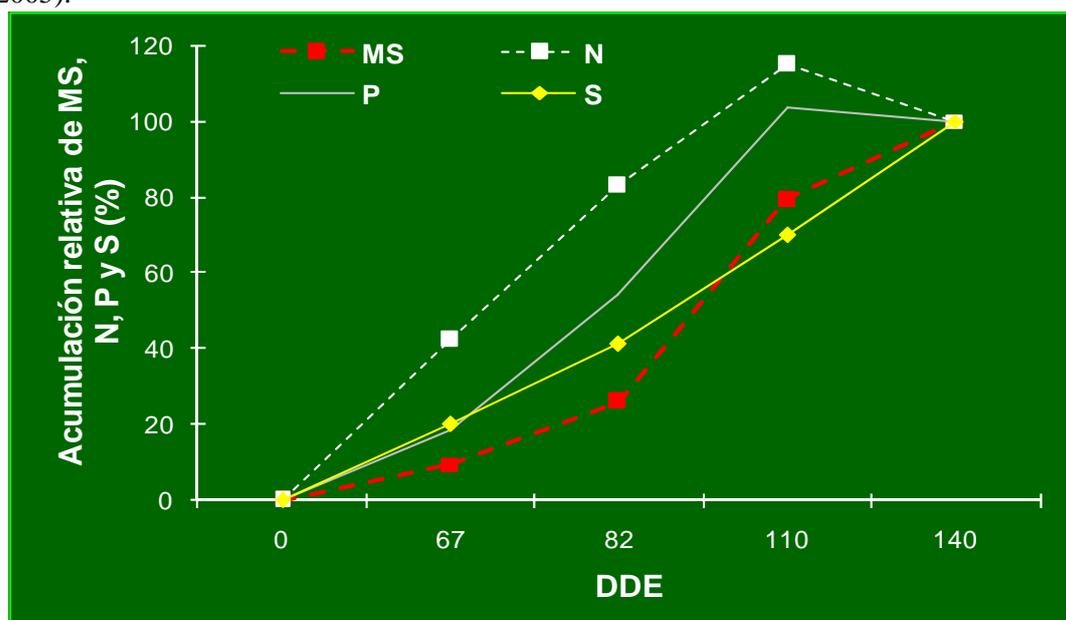


Figura 2. Acumulación relativa de materia seca (MS), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) en función de los días desde la emergencia (DDE) del cultivo de trigo. (Fuente: Reussi Calvo, 2005).

Manejo de fósforo:

Para evaluar la disponibilidad de P en trigo se recomienda el muestreo de suelo en superficie (0-20cm) al momento de la siembra, siendo importante tomar un número elevado de submuestras (20-30) particularmente en planteos bajo siembra directa. El contenido de P disponible junto con el rendimiento objetivo del cultivo son utilizados para realizar la recomendación de la fertilización fosfatada del cultivo (Tabla 2). No obstante, otras características del sitio deben ser consideradas para mejorar la precisión de la recomendación como son el contenido de materia orgánica, la presencia de capas compactadas, la textura, la historia de fertilización con P, etc. Para diferentes aéreas de la Región Pampeana numerosos autores han determinados los niveles críticos de P Bray por debajo de los cuales se considera rentable la fertilización fosfatada. En el sudeste bonaerense, Berardo (1994) y Zamuner et al., (2005) determinaron niveles críticos de P Bray de 14 y 15 ppm para el cultivo de trigo bajo labranza convencional y siembra directa, respectivamente. Otros trabajos, obtuvieron respuestas al agregado de P con niveles de P Bray de hasta 25-28 ppm para rendimientos de 6000-6500 kg ha⁻¹ (Berardo et al., 1999).

Respecto a la forma de aplicación de P, existen varios trabajos que han demostrado para suelos con baja disponibilidad de P o para dosis bajas de P una mayor eficiencia de la aplicación en la línea respecto al voleo (Berardo et al., 1999). No obstante, otros autores determinaron para maíz y soja bajo siembra directa que las aplicaciones de P al voleo en forma anticipada podrían ser un estrategia alternativa, con similares respuestas a la aplicación en línea a la siembra (Mallarino, 2001). Sin embargo, es necesario realizar mayor investigación para evaluar la eficiencia de dicha forma de fertilización fosfatada en el cultivo de trigo. Es válido mencionar que debido a la alta residualidad de este nutriente en los suelos de la Región Pampeana, en muchos sistemas de producción se planifica la aplicación de P dentro de la rotación teniendo en cuenta no solo la respuesta y los requerimiento del cultivo que se fertiliza sino también del que le sigue en la rotación, tal es el caso de la secuencia trigo-soja de segunda.

Tabla 2. Recomendaciones de fertilización fosfatada para trigo según nivel de P Bray y rendimiento esperado (Fuente: FERTILAB, 2009).

Rendimiento ton/ha	Concentración de P disponible en el suelo (mg kg ⁻¹)						
	Menos 5	10	15	20	25	30	>30
	----- kg P/ha -----						
3	18	14	10	0	0	0	0
4	24	20	16	12	0	0	0
5	30	26	22	18	14	0	0
6	33	30	25	20	16	12	0
7	36	33	30	25	20	15	0

Manejo de nitrógeno:

En general, para evaluar la disponibilidad de N se recomienda el muestreo de suelo a la siembra del cultivo en los estratos superficiales (0-20 cm) y subsuperficiales (20-50 ó 20-40 y 40-60 cm). No obstante, en años ó regiones con excesos hídricos durante la pre-siembra del cultivo y/o con antecesores que dan lugar a un corto periodo de barbecho (ej. soja y sobre todo soja de segunda) es conveniente realizar un segundo control de nitrógeno en macollaje.

Prohibida su reproducción total o parcial sin el consentimiento expreso del autor

La metodología más difundida para el diagnóstico de N en trigo, se basa principalmente en la determinación del contenido de nitrato en el suelo (0-60 cm) al momento de la siembra (Calviño et al., 2002). Se han propuestos distintos umbrales de nitrato a la siembra según la zona los cuales varían según el rendimiento objetivo del cultivo entre 80-90 y 180 kg N ha⁻¹ (Tabla 3). Para el área de Balcerce, Tandil y Mar del Plata que corresponde a la zona de mayores rendimientos potenciales, Barbieri et al., (2009) determinaron niveles críticos de nitrógeno disponible (suelo+fertilizante) de **180 y 140 kg N ha⁻¹** para variedades francesas y tradicionales, respectivamente. Estos niveles críticos son superiores a los determinados en macollaje del cultivo (**150 y 130 kg N ha⁻¹** para variedades francesas y tradicionales, respectivamente) debido a la menor eficiencia de utilización del N aplicado a la siembra particularmente en años con elevadas precipitaciones. Sin embargo, en el Oeste, Centro y Norte de la Región Pampeana no es frecuente determinar diferencias en la eficiencia de uso del N del fertilizante entre los distintos momentos de fertilización producto de las menores precipitaciones invernales. Otros elementos a considerar al momento de realizar el diagnóstico son los años de agricultura, el cultivo antecesor, el sistema de labranza y las precipitaciones previas. Además, un análisis adicional que también permite mejorar el diagnóstico de la fertilización es la determinación del nitrógeno anaeróbico (Nm ó Nan), el cual es un estimador del nitrógeno aportado por el suelo por mineralización desde la materia orgánica. Este análisis se realiza en el laboratorio hace dos años, y paralelamente se están desarrollando ensayos con el objetivo de mejorar el conocimiento de la dinámica del nitrógeno en el cultivo de trigo.

El momento de aplicación también va depender de la dosis de N a aplicar, puesto que si las dosis son relativamente elevadas (alto rendimiento objetivo) es conveniente realizar aplicaciones divididas con el objetivo de reducir la probabilidad de pérdidas de N y de esta forma mejorar la eficiencia de uso del fertilizante (Calviño y Redolatti, 2004). Además, las aplicaciones tempranas de N (desde la siembra hasta macollaje) producen un mayor efecto sobre el rendimiento que sobre el contenido de proteína en grano (Quattrocchio et al., 2004). De manera contraria, las aplicaciones más tardías de N (hasta antesis) producen mayor influencia sobre el contenido de proteína que en rendimiento (Quattrocchio et al., 2004). Por lo tanto, cuando se pretende incrementar los parámetros relacionados con la calidad comercial y panadera del trigo, particularmente en los trigos candeales, es conveniente recurrir a aplicaciones foliares de N en estadíos próximos a antesis (Bergh et al., 2006). **No obstante, es válido mencionar que las fertilizaciones foliares no permiten la aplicación de elevadas dosis de N, por lo cual se las considera suplementarias dentro del programa de fertilización.**

Tabla 3. Niveles críticos de N disponible a la siembra (0-60 cm) para distintas áreas de la región pampeana y con diferentes rendimientos objetivo (Adaptado: García y Berardo, 2005).

Área	Valor crítico de N en pre-siembra (Kg N ha ⁻¹) (0-60 cm)	Rendimiento objetivo (kg ha ⁻¹)	Fuente
Sudeste de Buenos Aires	178	6500-6900	Barbieri et al., (2009)
Oeste de Buenos Aires	90	3000	González Montaner
Norte de Buenos Aires	100-140	3500-4000	Satorre
Sur de Santa Fe y Córdoba	100-150	3200-4400	Blanco et al., (2004)

Manejo de azufre:

Al igual que para nitrógeno, se recomienda el muestreo de suelo en los estratos superficiales (0-20 cm) y subsuperficiales (20-40 y 40-60 cm) antes de la siembra del cultivo. Los muestreos en los estratos inferiores son más importantes en suelos de texturas arenosas y/o regiones con abundantes precipitaciones, debido a la movilidad de este nutriente. Además, en años con excesos hídricos a la siembra del cultivo es conveniente realizar los muestreos de suelo al inicio del período de macollaje del cultivo. Otra alternativa promisoriosa es el muestreo de planta entera para determinar la relación N:S en biomasa aérea, sin embargo, es necesario realizar mayor investigación para ajustar esta metodología en las distintas zonas de la región pampeana. Además, el análisis de grano de trigo puede ser empleado para caracterizar el estatus azufrado que tuvo el cultivo, y programar la fertilización para los cultivos subsiguientes en la rotación. **Como fue mencionado, bajo condiciones de adecuada disponibilidad hídrica la absorción de S posantesis puede ser importante (hasta el 50% de la absorción total), por lo tanto, la aplicación de este nutriente en el cultivo de trigo puede ser tardía al igual que para N.** En el doble cultivo trigo-soja de segunda, la aplicación de S se realiza considerando los requerimientos de ambos cultivos al igual que para el caso de P, sobre todo por los altos requerimientos de este nutriente por parte de la soja y el bajo índice de S del trigo.

En la actualidad, existe una amplia gama de fertilizantes azufrados sólidos y líquidos en el mercado, los cuales pueden contener o no otros nutrientes (Melgar y Camozzi, 2002). Los fertilizantes altamente solubles, como el sulfato de amonio (21-0-0-24), representan una forma de S rápidamente disponible para el cultivo. Si bien esto puede significar una ventaja con respecto a otros fertilizantes azufrados, es necesario que exista una adecuada sincronización con la demanda por parte del cultivo para lograr alta eficiencia de utilización de dicha fuente. Otra fuente de S empleada en la actualidad el sulfato de calcio (18-20 % S), cuyo valor comercial depende de su solubilidad y grado de pretratamiento. Si bien la solubilidad de este fertilizante es menor que la del sulfato de amonio, trabajos realizados en la región pampeana no han determinado diferencias significativas en rendimiento de soja entre dichas fuentes (Gutierrez Boem et al., 2007). Por otra parte, los fertilizantes líquidos con S constituyen una alternativa interesante, siendo el tiosulfato de amonio (26 % S) el más difundido. Este fertilizante cuando es aplicado al suelo produce S elemental y sulfato en partes iguales, por lo que

parte del mismo esta rápidamente disponible para el cultivo y el resto debe oxidarse para poder ser absorbido. Además, es un fertilizante versátil ya que puede ser utilizado en mezclas líquidas con N (ej.UAN), fósforo, potasio y en fertirriego.

Deficiencia de N, P y S en trigo:



Deficiencia de N: Clorosis en las hojas inferiores, reducción del crecimiento, expansión foliar y muerte de macollos.

Fuente: Fertilab.



Deficiencia de P: Reducción del crecimiento inicial, número de macollos y resistencia a heladas.

Fuente: Fernando García (IPNI Cono Sur).

Prohibida su reproducción total o parcial sin el consentimiento expreso del autor.



Deficiencia de S: Clorosis en las hojas jóvenes, menor expansión foliar y reducción del número de macollos.

Fuente: Fertilab.

Bibliografía:

- Barbieri, P.A., H.R. Sainz Rozas y H.E. Echeverría. 2009. Nitratos en el suelo a la siembra o al macollaje como diagnóstico de la nutrición nitrogenada en trigo en el sudeste bonaerense. Ciencia del suelo (aceptado).
- Berardo A. 1994. Aspectos generales de fertilización y manejo del trigo en el área de influencia de la Estación Experimental INTA-Balcarce. Boletín Técnico No. 128. EEA INTA Balcarce.
- Berardo A., F. Grattone y G. Borrajo. 1999. Fertilización fosfatada de trigo: Respuesta y forma de aplicación. Informaciones Agronómicas 2:1-3. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Bergh, R., T. Loewy y H.E. Echeverría. 2006. Importancia de la fertilización nitrogenada sobre la calidad panadera del trigo. Revista de la 37 Fiesta Provincial del Trigo, 4-12/3/2006. Tres Arroyos, Buenos Aires. pp 23-27.
- Calviño, P; H.E. Echeverría y M. Redolatti. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo 20:36-42.
- Calviño P.A. y M. Redolatti. 2004. Resultados de dividir la dosis de nitrógeno en trigos de alto rendimiento en el sudeste de bonaerense. Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná-Entre Ríos. p 171 Junio 2004.
- García, F.O. y A. Berardo. 2005. Trigo. En: Echeverría H.E. y F.O. García (eds). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 233-253.
- Gutierrez Boem F.H., F. Salvaggiotti, G. Ferraris, A. Quiroga, M. Barraco, H. Vivas, P. Prystupa y H.E. Echeverría. 2006. Identificación de sitios deficientes en azufre mediante el análisis de grano de soja. Mercosoja. 26-30 de junio, Rosario. 4 p.
- Mallarino, A. 2001. Manejo de la fertilización con fósforo y potasio para maíz y soja en el centro-oeste de los Estados Unidos. Actas Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2001". INPOFOS Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Melgar R. y M.E. Camozzi. 2002. Guía de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales. 2º Ed. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Quattrocchio, A., H.E. Echeverría y S.I. Alonso. 2004. Estrategias de fertilización nitrogenada de cultivares de trigo pan: rendimiento y proteína. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná-Entre Ríos. 22-25 Junio de 2004.
- Reussi Calvo, N.I. Respuesta de un cultivo de trigo a la fertilización nitrogenada, fosfatada y azufrada bajo siembra directa y labranza convencional. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de ciencias agrarias. 45 p.
- SAGPyA, 2009. Trigo Pan. Disponible en <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>, verificado 28/05/2008.
- Zamuner, E.C., L.I. Picone, H.E. Echeverría. 2005. Comparison of phosphorus fertilization diagnostic methods for wheat under no-tillage. Soil and Tillage Research 89:70-77.