

Requerimientos nutricionales y diagnóstico de la fertilización del cultivo de trigo

Fernando O. García
INPOFOS Cono Sur
Av. Sannta Fe 910, (1641) Acassuso, Argentina
fgarcia@ppi-ppic.org

El rendimiento potencial de trigo en la Región Pampeana está condicionado principalmente por las variaciones climáticas, específicamente por la radiación incidente y la temperatura media durante el período previo a la floración (Magrin y Travasso, 1997). Esta es la razón por la cual, en la región pampeana argentina, se obtienen rendimientos potenciales de 5000-6000 kg/ha en la zona norte y de 7000-8000 kg/ha en la zona sur (Abbate *et al.*, 1994; Magrin y Travasso, 1997). Para alcanzar estos niveles potenciales de producción deben optimizarse tanto el manejo de los nutrientes, como el manejo del agua y el control de plagas, malezas y enfermedades. La adecuada nutrición del cultivo permite maximizar la eficiencia de uso de todos los factores de producción (suelo, agua, insumos).

En este artículo se presentan los requerimientos nutricionales de trigo y algunas metodologías de diagnóstico para la fertilización utilizadas en la región pampeana argentina y el sur de Brasil que contribuyen al uso eficiente de los nutrientes en el sistema suelo-planta.

A. Requerimientos nutricionales del cultivo

El diagnóstico de la fertilización implica conocer los requerimientos nutricionales para alcanzar un rendimiento objetivo (demanda) y la capacidad del suelo para proveer esos nutrientes en la cantidad y el momento adecuado (oferta).

Los requerimientos y extracción en grano de los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) para distintos niveles de producción se indican en la Tabla 1. El índice de cosecha (extraído/absorbido) de N y P es elevado, del 65-75%, mientras que para K es mucho menor, 25%. En términos de fertilizante, con rendimientos de 5000 kg/ha se exportan del sistema el equivalente a 180 kg/ha de urea, 94 kg/ha de fosfato diamónico y 46 kg/ha de cloruro de potasio. Los requerimientos de nutrientes secundarios (azufre, calcio y magnesio) y micronutrientes (cobre, manganeso, zinc, boro, hierro) se indican en la Tabla 2.

Tabla 1. Requerimientos y extracción en grano de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) para distintos rendimientos de trigo.

Rendimiento	Absorción en planta			Extracción en grano		
	N	P	K	N	P	K
kg/ha	-----	kg/ha	-----	-----	kg/ha	-----
3000	90	15	57	60	11	14
5000	150	25	95	100	19	23
7000	210	35	133	140	26	32

Tabla 2. Requerimientos de nutrientes secundarios y micronutrientes del cultivo de trigo para producir una tonelada de grano.

Azufre	Calcio	Magnesio	Cobre	Manganeso	Zinc	Boro	Hierro
-----	kg/ton	-----	-----	-----	g/ton	-----	-----
4.4	3	3	10	70	52	25	137

B. Diagnóstico de fertilización

El análisis de suelo es la herramienta básica y fundamental para determinar los niveles de fertilidad de cada lote. Es importante conocer las características climáticas de la zona, del suelo y su manejo y del manejo del cultivo para definir el plan de fertilización. Para nutrientes específicos y en distintos estados fenológicos del cultivo, los análisis vegetales son herramientas de gran utilidad en el diagnóstico de la fertilización.

Nitrógeno

En la región pampeana argentina se han desarrollado distintos métodos de diagnóstico para determinar las necesidades de fertilización nitrogenada de trigo:

1. *Balances de N simplificados* a escala regional y/o zonal que incluyen la evaluación de niveles de N disponible en pre-siembra, el manejo previo del lote, las precipitaciones y el rendimiento objetivo (Sbaraglia, 1988; Loewy, 1990; Berardo, 1994).
2. *Evaluación de N disponible en pre-siembra*. En la zona sudeste se determinaron umbrales de 110-130 kg/ha de N disponible (N-NO₃⁻ del suelo + N fertilizante) a la siembra para alcanzar rendimientos de 4000-5000 kg/ha (González Montaner et al., 1991; García et al., 1998) (Fig. 1). Para la zona sur de Santa Fe, se ha reportado un umbral de 70 kg/ha de N disponible a la siembra (González Montaner et al., 1997a).

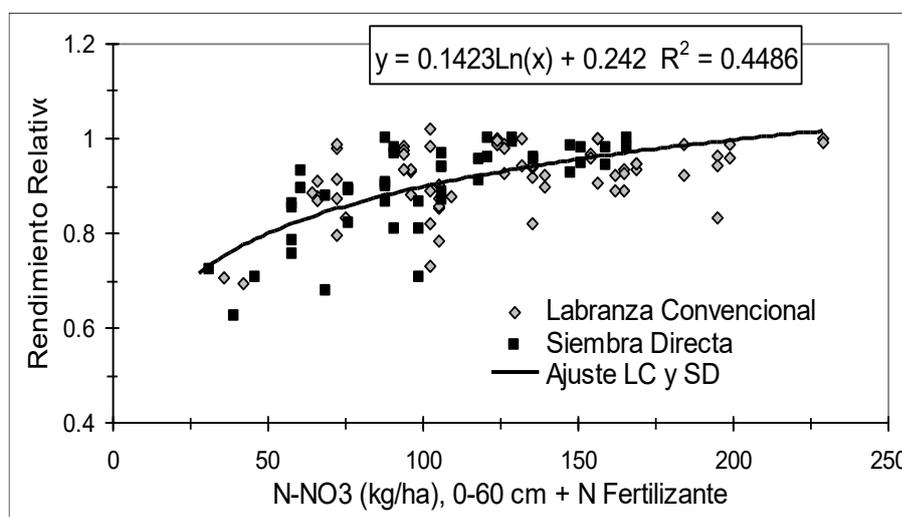


Fig. 1. Rendimientos relativos de trigo con respecto al máximo en función de la disponibilidad de N (N-NO₃⁻ del suelo + N del fertilizante) a la siembra (n = 116) en 10 ensayos de fertilización nitrogenada realizados en 1995 y 1996 en la zona serrana del sudeste de Buenos Aires, Argentina (García et al., 1998).

3. *Análisis de planta*. Presentan la ventaja, sobre los análisis de suelo, de integrar los efectos de factores meteorológicos y edáficos sobre el estado nutricional del cultivo. González Montaner et al. (1987) reportan un umbral crítico de 1200 mg NO₃⁻ /L en “jugo” de tallos al macollaje del cultivo. Vigliezzi et al. (1996) encontraron umbrales de 4.47 g N-NO₃⁻ kg⁻¹ y 1.25 g N-NO₃⁻ kg⁻¹ en seudotallos de trigo (base muestra seca) para los estados de “doble arruga” y espiguilla terminal, respectivamente. Estas diferencias indican la importancia de la determinación del estado fenológico del cultivo para la utilización de este análisis.
4. *Modelos de simulación*. Permiten integrar los factores de suelo, clima y manejo que afectan la dinámica de N y el crecimiento y rendimiento del cultivo. González Montaner et al. (1997b) desarrollaron un modelo basado en el balance de N durante la estación de crecimiento del cultivo, con el cual se pueden predecir las necesidades de fertilización. Los datos de entrada necesarios (“inputs”) son: N-NO₃⁻ en pre-siembra, C orgánico, porcentaje de arcilla, contenido de agua inicial, contenido de agua a capacidad de campo y, para los periodos siembra-fin de macollaje, fin de macollaje-antesis y antesis-madurez fisiológica, las precipitaciones, la temperatura media y la relación presión de vapor del aire real/presión de vapor del aire saturada. Este modelo ha sido desarrollado y validado bajo las condiciones del sudeste de Buenos Aires, para trigos de ciclo corto, en lotes con más de 10 años de agricultura, bajo labranza convencional y con antecesor girasol. Para el Norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe, la Facultad de Agronomía (UBA) y los grupos CREA calibraron un modelo de fertilización nitrogenada basado en el modelo de simulación de crecimiento y rendimiento CERES Trigo (Ritchie et al., 1988; Maddoni, 1997). El modelo de fertilización incluye alternativas de manejo, variables edáficas y estadísticas climatológicas zonales.

En el sur de Brasil, las recomendaciones de fertilización nitrogenada se basan en la expectativa de rendimiento y el tenor de materia orgánica del suelo (Comissao de Fertilidade do Solo RS/SC, 1995) (Tabla 3). Se recomienda aplicar 15-20 kg N/ha a la siembra y el resto en cobertura 30 a 45 días después de la siembra. Para decidir la dosis de N a utilizar, también se deben considerar el cultivar, el tipo de suelo (pH,

textura), las condiciones climáticas (precipitaciones, temperatura), el cultivo antecesor (gramínea o leguminosa), el comportamiento del cultivo en años anteriores, la rotación del lote, el sistema de manejo (siembra directa, convencional), la ocurrencia de erosión y el manejo del cultivo (control de enfermedades).

Tabla 3. Recomendación de fertilización nitrogenada para trigo según expectativa de rendimiento y tenor de materia orgánica para los estados de Rio Grande do Sul y Santa Catarina, Brasil. (Comissao de Fertilidade do Solo-RS/SC, 1995).

Tenor de Materia orgánica %	Expectativa de rendimiento	
	< 2 ton/ha	> 2 ton/ha
< 2.5	60-100	90-130
2.6-3.5	40-60	60-90
3.6-4.5	30-40	40-60
4.6-5.5	20-30	25-40
> 5.5	< 15	< 20

Fósforo

El diagnóstico de la fertilización fosfatada se basa en el análisis de muestras de suelo del horizonte superficial, el rendimiento esperado y/o el tipo de suelo. En la región pampeana argentina, en general, el extractante utilizado para determinar la disponibilidad de P del suelo es Bray 1 (Tabla 4). En el sur de Brasil se utiliza el extractante Melich 1 (Tabla 5).

Tabla 4. Recomendaciones de fertilización fosfatada para trigo según nivel de P Bray y rendimiento esperado para el sudeste de la región pampeana argentina (Echeverría y Garcia, 1998).

Rendimiento ton/ha	Concentración de P Bray en el suelo (mg/kg)						
	Menos 5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-16	16-20
	kg P ₂ O ₅ /ha						
2	45	34	30	25	21	17	
3	53	43	38	34	29	25	
4	62	51	47	42	38	33	23
5	70	59	55	51	46	42	31
6	78	68	63	59	55	50	39
7	87	76	72	67	63	59	48

Tabla 5. Concentración de P Melich 1 (a) y recomendaciones de fertilización fosfatada para trigo (b) según clase de disponibilidad y tipo de suelo para los estados de Rio Grande do Sul y Santa Catarina, Brasil. (Comissao de Fertilidade do Solo-RS/SC, 1995).

<i>a. Concentración de P Melich 1 en el suelo</i>						
Tipo de suelo	Clase de disponibilidad					
	Limitante	Muy bajo	Bajo	Medio	Suficiente	Alto
% arcilla	----- mg/L -----					
> 55	< 1	1.1-2	2.1-4	4.1-6	6.1-8	> 8
41-55	< 1.5	1.6-3	3.1-6	6.1-9	9.1-12	> 12
26-40	< 2	2.1-4	4.1-9	9.1-14	14.1-18	> 18
11-25	< 3	3.1-6	6.1-12	12.1-18	18.1-24	> 24
10	< 4	4.1-8	8.1-16	16.1-24	24.1-30	> 30

<i>b. Recomendación de fertilización</i>						
Tipo de suelo	Clase de disponibilidad					
	Limitante	Muy bajo	Bajo	Medio	Suficiente	Alto
% arcilla	----- kg P ₂ O ₅ /ha -----					
> 55	150	120	90	70	50	30
41-55	140	110	80	60	40	30
26-40	130	100	70	50	30	20
11-25	130	100	70	50	30	20
10	140	110	80	60	40	30

Potasio

El diagnóstico de la fertilización potásica se realiza a partir del análisis de suelo de la capa superficial. Al igual que para P, en Rio Grande do Sul y Santa Catarina se emplea el extractante Melich 1 (Tabla 6).

Tabla 6. Recomendaciones de fertilización potásica para trigo según disponibilidad de K extraído por Melich 1 para los estados de Rio Grande do Sul y Santa Catarina, Brasil. (Comissao de Fertilidade do Solo-RS/SC, 1995).

Disponibilidad de K (mg/L)					
0-20	21-40	41-60	61-80	81-120	> 120
Recomendación de fertilización (kg K/ha)					
130	100	70	40	20	< 20

Los suelos de la región pampeana argentina se consideran bien provistos de K por lo que, en general, no se considera necesaria la aplicación de este nutriente. En ensayos realizados en el Norte de Buenos Aires en 1995 y 1996, se obtuvieron respuestas de 180 a 280 kg/ha (7% sobre el tratamiento sin K) en 9 de 13 sitios evaluados con niveles de K disponible de 370 a 680 mg/kg. Las dosis utilizadas fueron de 25-50 kg/ha de K₂O sobre una fertilización de base con N y P (Melgar, 1997). Como se indicó anteriormente, el análisis de suelo es la herramienta más adecuada para determinar posibles deficiencias de este u otros nutrientes.

Azufre

En la región pampeana argentina se han observado respuestas significativas a la aplicación de azufre (S) en trigo en las zonas Oeste y Norte. En la zona Oeste, las respuestas a S se relacionan con el bajo nivel de materia orgánica del suelo (<2-2.5%) y los altos rendimientos que se han obtenido en los últimos años. En la zona Norte, las respuestas se observan con mayor frecuencia en suelos degradados, con muchos años de agricultura continua (especialmente soja), en siembra directa y con cultivos de alta producción con fertilización nitrogenada y fosfatada (Melgar, 1997; Martínez y Cordone, 1998) (Fig. 2). Las dosis recomendadas varían entre 10 y 20 kg S/ha.

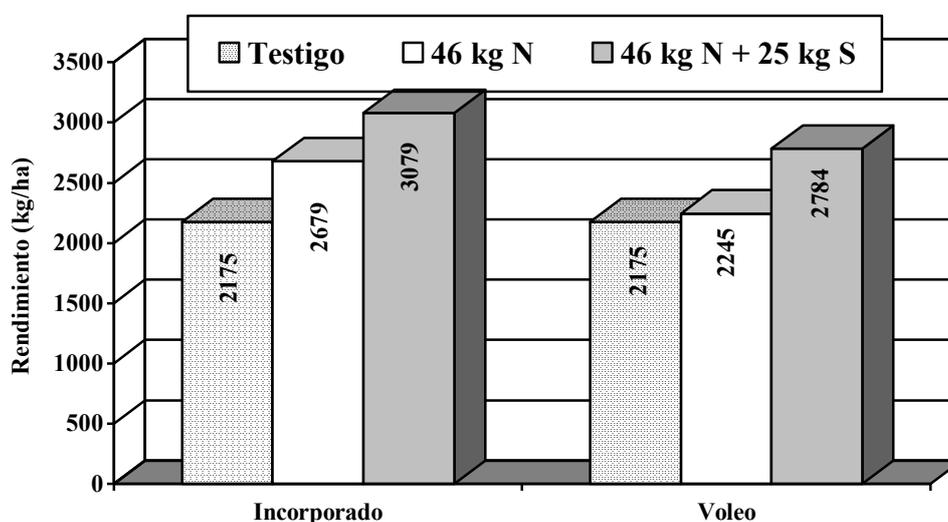


Fig. 2. Rendimientos de trigo bajo siembra directa con distintos tratamientos de fertilización nitrogenada y azufrada. Arequito, Santa Fe, Argentina (Martínez y Cordone, 1998).

En Rio Grande do Sul y Santa Catarina no se han observado respuestas generalizadas a la aplicación de S. La Comisión de Fertilidad de Suelos RS/SC (1995) propone una interpretación preliminar para el diagnóstico de la fertilización azufrada a partir del análisis de $S-SO_4^{2-}$. Esta interpretación considera tres categorías: 1) baja disponibilidad, valores menores a 2mg S/L, 2) disponibilidad media, de 2 a 5 mg S/L, y 3) disponibilidad suficiente, mayores de 5 mg S/L.

Otros nutrientes

Tanto en la región pampeana argentina como en el sur de Brasil, no se han reportado deficiencias generalizadas a otros nutrientes. Los análisis de suelo y foliar permitirían establecer situaciones de deficiencia o suficiencia para estos nutrientes. La Tabla 7 muestra una interpretación preliminar de análisis de suelo para magnesio (Mg), cobre (Cu), zinc (Zn) y boro (B) para el sur de Brasil.

Tabla 7. Interpretación de determinaciones de magnesio, cobre, zinc y boro para los suelos y condiciones de Rio Grande do Sul y Santa Catarina, Brasil (Comissão de Fertilidade do Solo-RS/SC, 1995).

Disponibilidad	Magnesio cmol/L	Cobre ----- mg/L	Zinc ----- mg/L	Boro ----- mg/L
Baja	< 0.5	< 0.15	< 0.20	< 0.1
Media	0.6-1.0	0.15-0.40	0.20-0.50	0.1-0.3
Suficiente	> 1.0	> 0.40	> 0.50	> 0.3

A nivel informativo, en la Tabla 8 se indican rangos de niveles críticos de micronutrientes en suelo según Sims y Johnson (1991) y concentraciones críticas de micronutrientes en planta entera de trigo al estado de encañazon sugeridas en Jones (1991).

Tabla 8. Rangos de niveles críticos de micronutrientes en suelo según Sims y Johnson (1991) y concentraciones críticas de micronutrientes en planta entera de trigo al estado de encañazon (Jones, 1991).

Determinación	Boro	Cobre	Hierro	Manganeso	Molibdeno	Zinc
	----- mg/kg -----					
Suelo #	0.1-2	0.1-2.5	2.5-5	1-5	0.1-0.3	0.2-2
Planta de Trigo a encañazon	15	5	25	30	0.3	15

Extracciones: B con agua caliente; Mo con oxalato de amonio a pH 3.3; y Cu, Fe, Mn y Zn con DTPA.

Referencias

- Abbate P., F. Andrade y J. P. Culot. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín Técnico No. 133. EEA INTA Balcarce.
- Berardo A. 1994. Aspectos generales de fertilización y manejo del trigo en el area de influencia de la Estación Experimental INTA-Balcarce. Boletín Técnico No. 128. EEA INTA Balcarce. Buenos Aires, Argentina.
- Comissao de Fertilidade do Solo-RS/SC. 1995. Recomendacoes de adubacao e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 3ª. ed. Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo (SBCS)-Nucleo Regional Sul. Universidade Fedearl de Santa Maria. Santa Maria, RS, Brasil. 224 p.
- Echeverría H. y F. Garcia. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 149. EEA INTA Balcarce. Buenos Aires, Argentina.
- García F. O., K. P. Fabrizzi, A. Berardo y F. Justel. 1998. Fertilización nitrogenada de trigo en el sudeste bonaerense: Respuesta, fuentes y momentos de aplicación. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACCS. Carlos Paz, Córdoba.
- González Montaner J., G. Maddoni y M. R. Di Napoli. 1997b. Modeling grain yield and grain yield response to nitrogen in spring wheat crops in the Argentinean Southern Pampa. Field Crops Research 51:241-252.
- González Montaner J., G. Maddoni, N. Mailland y M. Posborg. 1991. Optimización de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo a partir de un modelo de decisión para la Subregión IV (Sudeste de la Provincia de Buenos Aires). Ciencia del Suelo 9 (1-2):41-51.
- González Montaner J., J. M. Meynard y B. Mary. 1987. Controle de la nutrition azotee du blé par l'analyse des teneurs en nitrates dans la plante. C.R. Acad. Agric. Fr. 73 (3):105-115.
- González Montaner J., A. Von Buch, M. Di Napoli, S. Gambaudo, H. Fontanetto, R. Pozzi, E. Teco y E. Gasparotti. 1997a. Fertilización en trigo. Revista CREA. Año XXXII. No. 199. pp. 64-70.
- Jones J. B. 1991. Plant tissue analysis in micronutrients. In J. J. Mortvedt et al. (ed.). Micronutrients in agriculture. 2nd. Edition. Book series No. 4. SSSA. Madison, Wisconsin, EE.UU.
- Loewy T. 1990. Fertilización nitrogenada del trigo en el Sudoeste bonaerense. I. Respuesta física y diagnóstico. Ciencia del Suelo 8:47-56.
- Maddoni G. 1997. Los requerimientos de nitrógeno y la fertilización del cultivo de trigo. Fertilizar, Suplemento Trigo p. 1-9. Mayo 1997. EEA INTA Pergamino. Buenos Aires, Argentina.
- Magrin G. y M.I. Travasso. 1997. Potencial de producción del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en la Región Pampeana argentina. Reunión de Planificación Estratégica de Trigo INTA-CIMMYT. Mar del Plata.
- Martínez F. y G. Cordone. 1998. Fertilización azufrada en soja. Jornadas de Azufre. UEEA INTA Casilda, Septiembre 1998. Casilda, Santa Fe, Argentina.
- Melgar R. 1997. Potasio, azufre y otros nutrientes necesarios para considerar en una fertilización. Fertilizar Suplemento Trigo. p. 17-24. EEA INTA Pergamino. Buenos Aires, Argentina.
- Ritchie J., D. Godwin y S. Otter-Nacke. 1988. CERES-Wheat. A simulation model of wheat growth and development. Texas A&M Univ. Press, College Station, Texas, EE.UU.
- Sbaraglia M. 1988. Guía practica para la interpretación de los analisis de suelo. INTA-SAGYP-ENICHEM Italia.
- Sims J.T. y G. V. Johnson. 1991. Micronutrient soil tests. In J. J. Mortvedt et al. (ed.). Micronutrients in agriculture. 2nd. Edition. Book series No. 4. SSSA. Madison, Wisconsin, EE.UU.
- Vigliezzi A., H. Echeverría y G. Studdert. 1996. Nitratos en seudotallos de trigo como indicador de la disponibilidad de nitrógeno. Ciencia del Suelo 14 (2):57-62.