

FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y AZUFRADA EN CEBADA CERVECERA CV. SCARLETT

P. Prystupa¹, R. Bergh², G. Ferraris³, T. Loewy⁴, L. Ventimiglia⁵, F.H. Gutierrez Boem¹ y L. Couretot³
¹Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, FAUBA; ²Chacra Experimental Integrada de Barrow, INTA-MAA; ³EEA Pergamino, INTA; ⁴EEA Bordenave, INTA; ⁵UEEA 9 de Julio, INTA.
 prystupa@agro.uba.ar

Introducción

La cebada producida en nuestro país tiene como destino casi exclusivo la elaboración de malta. Para este objetivo, se prefiere que el contenido proteico del grano de cebada sea mayor a 10% y menor a 12%. Durante la comercialización, las partidas de cereales que no cumplen con este requisito reciben importantes descuentos en el precio.

El cultivar Scarlett es uno de los más difundidos en el país y en el mundo. Al igual que otras variedades, como Quilmes Ayelén, tiene un muy alto potencial de rendimiento pero suele presentar concentraciones de proteínas excesivamente bajas (Matthiess et al., 2002; Michiels y Degenhart, 2004). En los cultivos de cereales, la fertilización nitrogenada es una herramienta que permite incrementar el contenido proteico de los granos y alcanzar los potenciales de rendimiento.

La información disponible sobre la fertilización nitrogenada en cebada cervecera en nuestro país se refiere casi exclusivamente al cultivar Quilmes Palomar. Esta variedad tiende a generar altos contenidos proteicos, pero posee un menor potencial de rendimiento (Lázzari et al., 2007; Loewy y Ron, 2001). Existe escasa información publicada sobre la respuesta a

la fertilización nitrogenada en las variedades de altos potenciales de rendimiento. Matthiess et al. (2002), en una red de ensayos de fertilización nitrogenada realizados en el sur de la provincia de Buenos Aires con la variedad Scarlett, no pudieron establecer un método para diagnosticar las deficiencias de N, pero observaron que con disponibilidades de hasta 150 kg N/ha el contenido proteico no superaba el 12%.

La difusión de estas variedades han generado un nuevo desafío tecnológico: ¿cómo obtener contenidos proteicos que no sean demasiado bajos, sin resignar eficiencia en la utilización del N? Una alternativa para aumentar el contenido de proteínas de los granos podría ser complementar las fertilizaciones nitrogenadas realizadas entre siembra y macollaje, con aplicaciones foliares durante antesis-espigazón. En nuestro país, se ha observado que las aplicaciones durante esta etapa suelen producir aumentos del contenido proteico en trigo pan y trigo candeal (Bergh et al., 2000; Loewy et al., 2004). Esta aplicación se realiza cuando ya ha transcurrido una parte del ciclo del cultivo, razón por la cual se podría diagnosticar la necesidad de fertilización con mayor precisión. El diagnóstico en este estadio fenológico puede realizarse evaluando ciertas características de las plantas. En nuestro país, se ha logrado predecir satisfacto-

Tabla 1. Algunas características de los ensayos realizados.

Nº	Año	Localidad	Partido	Labranza	Años Agric.	Suelo
1	2005	Micaela Cascallares	Tres Arroyos	S.D.	>10	Argiudol típico
2	2005	San Francisco Belloq	Tres Arroyos	L.C.	>20	Hapludol típico
3	2005	Puan	Puan	L.C.	6	Haplustol típico
4	2005	Coronel Suarez	Coronel Suarez	L.C.	>10	Argiudol típico
5	2005	La Trinidad	Gral. Arenales	S.D.	>20	Argiudol típico
6	2005	Arribeños	Gral. Arenales	S.D.	>20	Hapludol típico
7	2005	Dennehy	9 de Julio	L.C.	7	Hapludol éntico
8	2005	Junín	Junín	S.D.	>20	Hapludol éntico
9	2005	Baigorrita	Gral. Viamonte	L.C.	>10	Hapludol típico
10	2006	Micaela Cascallares	Tres Arroyos	S.D.	>10	Hapludol típico
11	2006	San Francisco Belloq	Tres Arroyos	L.C.	>20	Hapludol típico
12	2006	Puan	Puan	L.C.	5	Haplustol típico
13	2006	Coronel Suarez	Coronel Suarez	S.D.	12	Argiudol típico
14	2006	La Trinidad	Gral. Arenales	S.D.	>10	Argiudol típico
15	2006	Arribeños	Gral. Arenales	S.D.	>10	Hapludol típico
16-17	2006	Anderson	Bragado	S.D.	5	Hapludol éntico
18	2006	Junín	Junín	S.D.	>10	Hapludol éntico
19	2006	Baigorrita	Gral. Viamonte	L.C.	>10	Hapludol típico

S.D.: siembra directa, L.C.: Labranza convencional

riamente la respuesta a la fertilización nitrogenada durante anthesis en trigo, mediante el índice de verdor en hoja utilizando el clorofilómetro, Minolta Spad (Bergh et al., 2000).

En la región pampeana, las principales limitantes nutricionales para la productividad de los cultivos son las deficiencias de nitrógeno (N) y fósforo (P). Pero, en los últimos años, se han observado respuestas a la fertilización azufrada en diversos cultivos, soja (Gutiérrez Boem et al., 2007); maíz (Prystupa et al., 2006) y trigo (Galantini et al., 2006). En un ensayo realizado en el partido de Bragado empleando cebada cv. Scarlett, Michiels y Degenhart (2004) observaron una importante respuesta a la fertilización azufrada.

Los objetivos de esta red de ensayos fueron evaluar diferentes estrategias de fertilización nitro-azufrada en cebada cervicera cv. Scarlett, orientadas a compatibilizar altos rendimientos con adecuado contenido proteico, y determinar si la medición del índice de verdor contribuye al diagnóstico de aplicaciones complementarias de N foliar en espigazón.

Materiales y Métodos

Entre los años 2005 y 2006 se realizaron 19 experimentos distribuidos en el área de cultivo de cebada de la Provincia de Buenos Aires. En la Tabla 1 se indican la ubicación de los experimentos y algunas características de los sitios experimentales.

Se empleó la variedad Scarlett y se realizaron las prácticas culturales habituales para cada región. Todos los tratamientos fueron fertilizados con 20 kg de P/ha previo a la siembra.

El diseño experimental fue de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, excepto en los ensayos 8, 9, 17 y 18 donde se realizaron cuatro repeticiones.

Los tratamientos a evaluar correspondieron a la combinación de distintos niveles de fertilización nitrogenada y azufrada a la siembra, y fertilización nitrogenada en espigazón (Tabla 2). Los diferentes niveles de N inicial se establecieron como la suma del N como nitratos presente en el suelo antes de la siembra (0-60 cm

de profundidad) y el N aplicado con el fertilizante nitrogenado. Los tratamientos fertilizados con azufre recibieron 10 kg de S/ha, en una fuente soluble junto con la fertilización nitrogenada inicial. La fertilización nitrogenada se realizó durante macollaje en los ensayos realizados en el sur de la provincia (N° de ensayos: 1, 2, 3, 4, 10, 11, 12 y 13) e inmediatamente después de la siembra, en los realizados en el norte de la provincia (5, 6, 7, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 18 y 19). Para ello se aplicó urea en todos los experimentos, excepto en los ensayos 3, 4, 12 y 13 donde se empleó UAN. La fertilización nitrogenada foliar en espigazón se realizó aplicando sobre el canopeo urea en solución con bajo contenido de biuret.

Previo a la fertilización foliar en espigazón, se determinó el índice de verdor mediante un clorofilómetro (Minolta-Spad). En el cultivo de trigo esta medición se realiza usualmente en la hoja bandera; pero dado que la hoja bandera en cebada es muy pequeña, la medición se realizó en la anteúltima hoja en 20 plantas por parcela.

La cosecha se realizó en forma manual y se trilló en trilladoras estacionaria. El contenido proteico de los granos se determinó mediante espectroscopia de infrarrojo cercano.

Los resultados se analizaron por análisis de varianza. Cuando el efecto de los tratamientos fue significativo, se realizaron contrastes entre medias previamente planeados utilizando diferencia mínima significativa según lo detallado en la Tabla 3. Para determinar el efecto simple del N inicial, las interacciones entre el N inicial y el S, y la interacción entre el N inicial y el N en espigazón, se combinaron contrastes.

Resultados

Efectos sobre el rendimiento

a) Fertilización nitrogenada inicial

Si bien esta red presentó una gran variabilidad de rendimientos entre ensayos, se debe destacar el alto potencial de rendimiento alcanzado: en 5 de los 19 ensayos, con rendimientos superiores a los 6.000 kg/ha (Fig. 1).

Tabla 2. Tratamientos realizados en los ensayos evaluados.

Tratamiento	N inicial (N-NO ₃ en el suelo + N del fertilizante) (kg N/ha)	Cantidad de nutriente aplicar (kg/ha)	
		S en siembra	N en espigazón
1	Testigo	0	0
2	70 (ó 100)	0	0
3	100 (ó 130)	0	0
4	130 (ó 160)	0	0
5	70 (ó 100)	10	0
6	100 (ó 130)	10	0
7	130 (ó 160)	10	0
8	70 (ó 100)	10	20
9	100 (ó 130)	10	20
10	130 (ó 160)	10	20

Nota: El N inicial indicado entre paréntesis indica los niveles de disponibilidad de N empleados en los experimentos 4, 5, 6, 13, 15 y 17.

Se observaron respuestas significativas, a la fertilización nitrogenada inicial, en 7 de los 19 ensayos (Tabla 4). En ellos, el rendimiento aumentó entre el 24 y 45%, lo que significó incrementos superiores a una tonelada en 5 ensayos. Cabe destacar, que incluso en los 12 ensayos en que las diferencias no fueron significativas, se observó también una tendencia general al aumento de los rendimientos.

Considerando todos los ensayos, los rendimientos se relacionaron de manera poco estrecha con la disponibilidad de N, considerando la suma del N en el fertilizante y en el suelo a la siembra ($\text{Rendimiento} = 9,3 \text{ N} + 3577$; $R^2 = 0,052$; $P=0,053$). Se puede observar que los ensayos que tuvieron rendimientos máximos menores a 4.000 kg ha^{-1} (Puan 2005, San Francisco 2005, Junín 2005, Puan 2006 y Junín 2006) no respondieron a la fertilización nitrogenada (Fig. 1). Los sitios con respuesta fueron aquellos con potencial de rendimiento intermedio o alto. Si se consideran los cinco ambientes de mayor potencial productivo (que representarían situaciones cercanas al potencial de rendimiento para la región), los valores máximos se obtuvieron con niveles de N inicial de entre 100 y 130 kg N/ha.

b) Fertilización azufrada

La fertilización azufrada incrementó significativamente los rendimientos en los dos experimentos realizados en el Partido de General Arenales en el año 2006 (Trinidad y Arribeños) (Tabla 4). En estos dos experimentos, la respuesta promedio fue de 593 kg/ha . En el ensayo de Trinidad realizado en el año 2005, la aplicación de este elemento disminuyó significativamente los rendimientos. La respuesta promedio en todos los ensayos fue de 112 kg/ha . Esta información sugiere que las deficiencias de este elemento en los cultivos de cebada de la región pampeana no son generalizadas, aunque en ciertas situaciones puntuales pueden representar una limitante a la producción.

La respuesta a la fertilización azufrada (expresada como respuesta absoluta o rendimiento relativo) no se asoció a ninguna de las variables medidas. En los 14 experimentos en que se midió la concentración de sulfatos, esta variable no resultó un buen predictor de la respuesta a la fertilización azufrada (Fig. 2). Esta ausencia de asociación entre

la respuesta a la fertilización azufrada y la concentración de sulfatos ha sido observada en la mayoría de las redes de fertilización azufrada realizadas en la región pampeana (Echeverría et al. 2002 en soja, Ferraris et al. 2005 en maíz, Galantini et al. 2006 en trigo).

c) Fertilización nitrogenada en espigazón

La aplicación de N en espigazón sólo incrementó significativamente el rendimiento en el ensayo de Trinidad del año 2005 (Tabla 4). La respuesta promedio en todos los ensayos fue de 19 kg/ha . La interacción entre las fertilizaciones nitrogenada inicial y en espigazón no fue significativa en ninguno de los experimentos realizados. En síntesis, la fertilización nitrogenada en este estadio no afectó de manera marcada el rendimiento

Efectos sobre el contenido proteico de los granos

a) Fertilización nitrogenada inicial

En general, los contenidos proteicos de los granos observados en esta red son bajos: en sólo 4 ensayos los valores fueron superiores al 12,5% que es considerado excesivo de acuerdo a las condiciones comerciales utilizadas en los últimos años (Fig. 3). La

Tabla 3. Contrastes entre tratamientos empleados en el análisis estadístico.

Contraste No	Tratamientos	Efecto
1	1 vs (2, 3 y 4)	N inicial
2	2 vs (3 y 4)	
3	3 vs 4	
4	(2, 3 y 4) vs (5, 6 y 7)	S
5	(2, 6 y 7) vs (5, 3 y 4)	N inicial X S
6	(3 y 7) vs (4 y 6)	
7	(5, 6 y 7) vs (8, 9 y 10)	N espigazón
8	(5, 9 y 10) vs (8, 6 y 7)	N inicial X N espigazón
9	(6 y 10) vs (8 y 7)	

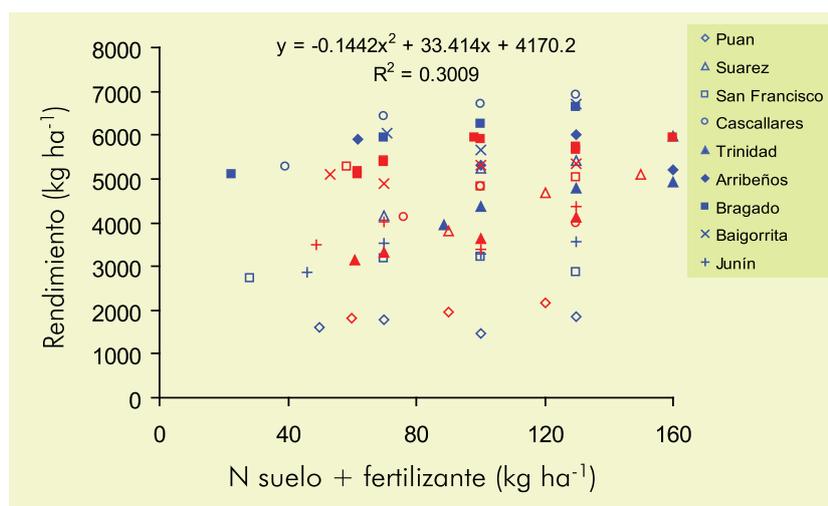


Figura 1. Rendimiento en función de la oferta de N (suelo + fertilizante, 0 - 60 cm). Los símbolos azules corresponden a los experimentos del 2005 y los rojos a los del 2006. La línea indica la función ajustada a los ambientes de mayor rendimiento (Cascallares, Baigorrita, Bragado y Arribeños en el 2005 y Bragado en el 2006).

fertilización nitrogenada incrementó significativamente el contenido proteico de los granos en 12 de los 19 experimentos analizados (Tabla 5). La respuesta promedio fue de, aproximadamente, 2 puntos de porcentaje. Esto significa que por cada kilogramo de N aplicado el porcentaje proteico aumentó, en promedio, 0,03. En todos los experimentos (con la excepción del de Puan del 2005 y Baigorrita 2006) el contenido proteico obtenido con la máxima dosis (tratamiento 4) fue superior al inmediatamente inferior (tratamiento 3). Esto indica que el efecto del N sobre el contenido de proteínas se prolonga más allá de los niveles de N inicial que maximizan el rendimiento.

b) Fertilización azufrada

La fertilización azufrada disminuyó significativamente el contenido proteico en tres ensayos y lo aumentó en uno (Tabla 5). Si se consideran todos los ensayos, la fertilización azufrada tendió a disminuir el porcentaje de proteínas en un 0,27%. Esta tendencia a disminuir el contenido proteico en los tratamientos fertilizados con S puede ser interpretada como una dilución como consecuencia del aumento en el rendimiento.

c) Fertilización nitrogenada en espigazón

La fertilización nitrogenada durante espigazón aumentó significativamente el contenido proteico de los granos en diez ensayos (Tabla 3). De la misma manera, en los ensayos en que los efectos no fueron significa-

tivos, la fertilización nitrogenada durante espigazón también tendió a aumentar las proteínas (excepto en los ensayos de Puan del 2005 y de Arribeños del 2006). Promediando todos los ensayos, la fertilización durante espigazón incrementó el contenido proteico de los granos un 0,75%, lo que implica que por cada kilogramo de N aplicado en este momento el contenido proteico aumentó 0,0375%. Considerando que en las aplicaciones en las primeras etapas del cultivo aumentaron el contenido proteico un 0,03% por kg N, la aplicación en espigazón fue, en promedio, un 25% más efectiva que la realizada en las etapas iniciales (aunque cabe señalar que las aplicaciones iniciales también aumentaron el rendimiento).

La respuesta del contenido proteico de los granos a la fertilización nitrogenada en espigazón no se asoció en forma significativa con el índice de verdor (Fig. 4). Para considerar las posibles variaciones entre sitios, se calculó un índice de verdor relativo dividiendo la observación obtenida en cada tratamiento por la medición obtenida con el máximo nivel de N inicial donde puede suponerse que no hubo limitantes en la disponibilidad de N, o al menos fueron mínimas. Sin embargo, el índice de verdor relativo tampoco se asoció significativamente con la respuesta de las proteínas a la fertilización en espigazón. Por lo tanto, las mediciones de índice de verdor, no serían útiles para predecir la respuesta a la fertilización nitrogenada en espigazón en esta especie. Es probable

Tabla 4. Respuesta del rendimiento al nitrógeno inicial (Ni), al azufre (S) y al nitrógeno en espigazón y análisis de varianza en cada sitio. La respuesta al Ni se calculó como la diferencia entre el tratamiento 1 y el máximo de los tratamientos 2,3 y 4. La respuesta al S se calculó como la diferencia entre los promedios de los tratamientos (2, 3 y 4) y (5, 6 y 7). La respuesta a Ne se calculó como la diferencia entre los promedios de los tratamientos (5, 6 y 7) y (8, 9 y 10).

Sitio	Respuesta (kg ha ⁻¹)			Análisis de varianza (valor de p)				
	Ni	S	Ne	Ni	S	Ni x S	Ne	Ni x Ne
1	1644	-181	-71	0,021	NS	NS	NS	NS
2	494	572	-586	NS	NS	NS	NS	NS
3	254	-162	20	NS	NS	NS	NS	NS
4	1805	-7	-279	0,001	NS	NS	NS	NS
5	952	-323	517	0,001	0,013	NS	0,001	NS
6	82	343	42	NS	NS	NS	NS	NS
7	1526	239	251	0,031	NS	NS	NS	NS
8	709	179	-116	NS	NS	NS	NS	NS
9	662	-101	117	NS	NS	NS	NS	NS
10	680	336	-1064	NS	NS	NS	NS	NS
11	124	-14	309	NS	NS	NS	NS	NS
12	353	55	-78	NS	NS	NS	NS	NS
13	1278	174	457	0,010	NS	NS	NS	NS
14	960	886	-125	NS	0,010	NS	NS	NS
15	1307	301	147	0,010	0,060	NS	NS	NS
16	794	-35	105	NS	NS	NS	NS	NS
17	785	133	127	NS	NS	NS	NS	NS
18	881	-56	239	0,010	NS	NS	NS	NS
19	241	-200	355	NS	NS	NS	NS	NS

que el pequeño tamaño de las hojas terminales de la cebada (comparadas con las hojas del cultivo de trigo) haya incrementado el error de la determinación disminuyendo el valor predictivo de la medición.

Estimación del contenido proteico a partir de la fertilización nitrogenada

a) El contenido proteico y la relación oferta de N / rendimiento

En la mayoría de los ensayos realizados en esta red observamos incrementos en el contenido proteico por efecto de la fertilización nitrogenada. Comparando entre experimentos se observó que los sitios que tuvieron mayores rendimientos presentaron los menores contenidos proteicos y viceversa. Estos resultados sugieren que el contenido proteico de los granos es una consecuencia de la relación entre la oferta de N y el rendimiento.

Para cuantificar esta relación se elaboró un índice dividiendo la disponibilidad de N por el rendimiento (Nd/R). La disponibilidad de N se calculó sumando el N presente en los nitratos del suelo hasta 60 cm de profundidad más el N aportado por los fertilizantes. Se consideró tanto el fertilizante nitrogenado inicial, el fertilizante nitrogenado aplicado en espigazón como el fertilizante nitro-fosforado (por ej., en los ensayos en que se aplicó fosfato monoamónico de base). El Nd/R representa los kilogramos de N disponibles (suelo + fertilizante) por tonelada de grano. El contenido proteico de los granos se asoció significativamente a este cociente (Fig. 5).

Es interesante destacar que tratamientos con y sin S se distribuyeron uniformemente a ambos lados de la curva de regresión indicando que la fertilización azufrada no alteró marcadamente esta relación. De igual manera, los tratamientos con y sin fertilización nitrogenada en espigazón se distribuyeron a ambos lados de la curva indicando que el momento de fertilización nitrogenada tampoco alteró la relación. La función obtenida permite estimar la cantidad de N por tonelada de grano necesaria para alcanzar un determinado contenido proteico. Para alcanzar un contenido proteico entre el 10 y el 12% se debe disponer entre 22,2 y 40,0 kg N/Tn grano. En la Tabla 6 se indican los niveles de N disponible necesarios para alcanzar diversos valores de contenido proteicos.

b) Utilización del modelo para calcular la dosis de fertilizante nitrogenado

Antes de realizar la fertilización es posible estimar qué rendimiento se espera obtener en un lote. Esto usualmente se realiza promediando los rendimientos obtenidos en el lote en los últimos años, o a través de una evaluación basada en la experiencia del técnico que recomienda la fertilización.

El modelo presentado en la Figura 5 incluye como variable dependiente al rendimiento. Si se reemplaza en las ecuaciones el rendimiento observado por

un rendimiento estimado previo a la fertilización, el modelo se transforman en predictivo: permite estimar los requerimientos de N para alcanzar un contenido proteico determinado. Es importante aclarar que las predicciones tienen un nivel de confiabilidad inferior a la que sugiere el R^2 del modelo porque la estimación del rendimiento está sujeto a un error que puede ser muy importante.

Para calcular los requerimientos de fertilizante nitrogenado utilizando el modelo que emplea la relación Nd/R se debe:

- Estimar, antes de fertilizar, un rendimiento esperado en el lote.
- Establecer que contenido proteico quiero obtener. A partir de ello se calcula el Nd/R empleando la Tabla 6 o la Figura 5.
- Determinar los nitratos presentes en el suelo hasta 60 cm de profundidad a la siembra.

Considerando que:

$$\text{Nd/R (kg N/Tn grano)} = \text{Nd (kg N/ha)} / \text{Rend (Tn grano/ha)}$$

(Ecuación 1)

$$\text{Nd (kg N/ha)} = \text{Nd/R (kg N/Tn grano)} * \text{Rend (Tn grano/ha)}$$

(Ecuación 2)

Donde: Nd: N en nitratos hasta 60cm en siembra más N en el fertilizante, y Rend: rendimiento esperado.

La ecuación 2 permite calcular el N en el suelo más el fertilizante que debemos alcanzar para obtener un determinado contenido proteico. Si le descontamos el N presente en el suelo a la siembra y el que aporta el fertilizante nitro-fosforado podemos calcular la dosis de fertilizante nitrogenado.

Conclusiones

La fertilización nitrogenada en las primeras etapas del cultivo resulta una herramienta muy útil para incrementar el rendimiento y el contenido proteico. En los sitios con mayor potencial productivo, es necesario disponer entre 100 y 130 kg N/ha para alcanzar los rendimientos máximos. Las dosis con las que se alcanzan los máximos rendimientos suelen ser inferiores a aquellas con las que se suelen alcanzar contenidos proteicos adecuados. La fertilización nitrogenada en espigazón es algo más eficiente que la inicial, para aumentar el contenido proteico. Independientemente del momento en que se fertiliza, es posible estimar los requerimientos de nitrógeno para obtener un determinado contenido proteico si se estima un rendimiento esperado.

Agradecimientos

Queremos agradecer a Fertilizar Asociación Civil por el apoyo económico recibido; a Maltería Pampa S.A., en particular al Ing. Agr. Daniel Desmery del Laboratorio de la Planta Tres Arroyos, por los análisis de calidad de las muestras de cebada; y a los Ings. Agrs. Gustavo Franco y Marcelo Sabbione por el apoyo brindado en la realización de los experimentos de Junín y Baigorrita.

Referencias bibliográficas

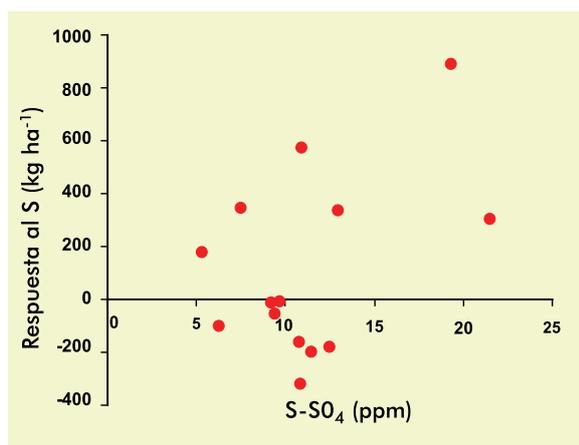


Figura 2. Respuesta a la fertilización azufrada (calculada como la diferencia entre el promedio de los tratamientos 5, 6 y 7 menos el promedio de los tratamientos 2, 3 y 4) en función de la concentración de $S-SO_4$ presente en la capa de 0 a 20 cm del suelo durante la siembra.

Bergh R., A. Baez, A. Quattrocchio y M. Zamora. 2000. Fertilización nitrogenada para calidad en trigo candeal. *Informaciones Agronómicas* 7: 13-16.

Echeverría E., G. Ferraris, G. Gerster, F.H. Gutiérrez Boem y F. Salvagiotti. 2002. Fertilización en soja y trigo - soja: respuesta a la fertilización en la región pampeana resultados de la red de ensayos del proyecto fertilizar – INTA Campaña 2000/2001 y 2001/2002. EEA INTA Pergamino, 44 p. (disponible on line en www.fertilizar.org.ar).

Ferraris G., F.H. Gutiérrez Boem, P. Prystupa, F. Salvagiotti, L. Couretot y D. Dignani. 2005. Fertilización azufrada en maíz en la pampa ondulada. VIII Congreso Nacional de Maíz. 16 a 18/11/2005. Rosario, Pcia. de Santa Fe: 162-165.

Galantini J., M.R. Landriscini, R. Fernandez, G. Mindollo, J. Cachiarelli y J.O. Iglesias. 2006. Trigo: Fertilización con nitrógeno y azufre en el sur y sudoeste bonaerense. *Informaciones Agronómicas* 29: 23-25.

Gutiérrez Boem F.H., P. Prystupa y G. Ferraris. 2007. Seed number and yield determination in sulphur deficient soybean crops. *J. Plant Nutr.* 30: 93-104.

Lazzari M.A., M.R. Landriscini y M. Echagüe. 2007. Nitrogen uptake by malting barley grown under conditions found in Buenos Aires Province, Argentina. *Commun. Soil*

Tabla 5. Respuesta del contenido proteico de los granos al nitrógeno inicial (Ni), al azufre (S) y al nitrógeno en espigazón y análisis de varianza en cada sitio. La respuesta al Ni se calculó como la diferencia entre el tratamiento 1 y el máximo de los tratamientos 2, 3 y 4. La respuesta al S se calculó como la diferencia entre los promedios de los tratamientos (2, 3 y 4) y (5, 6 y 7). La respuesta a Ne se calculó como la diferencia entre los promedios de los tratamientos (5, 6 y 7) y (8, 9 y 10).

Sitio	Respuesta (%)			Análisis de varianza (p)				
	Ni	S	Ne	Ni	S	Ni x S	Ne	Ni x Ne
1	2,30	-0,20	0,74	0,001	NS	NS	0,001	NS
2	3,40	-0,74	1,80	0,001	NS	NS	0,001	NS
3	3,10	0,47	-0,08	0,001	NS	NS	NS	NS
4	2,23	0,49	0,23	0,001	0,024	NS	NS	NS
5	-0,30	0,10	0,46	NS	NS	NS	NS	NS
6	0,37	-0,18	0,51	NS	NS	NS	NS	NS
7	3,33	-0,91	0,93	0,001	0,011	NS	0,008	NS
8	2,60	-0,38	1,15	0,001	NS	NS	0,003	NS
9	1,85	0,48	0,34	NS	NS	NS	NS	NS
10	2,83	-1,07	1,44	0,017	NS	NS	0,011	NS
11	3,80	-0,07	0,62	0,001	NS	NS	NS	NS
12	4,17	-1,50	1,27	0,001	0,029	NS	0,059	0,070
13	1,63	-0,12	0,80	0,001	NS	NS	0,001	0,090
14	1,20	-0,04	0,51	NS	NS	NS	NS	NS
15	0,50	-0,70	-0,28	NS	NS	NS	NS	NS
16	1,30	-0,07	0,82	0,020	NS	NS	0,002	NS
17	1,57	-0,11	0,67	0,009	NS	0,017	0,011	NS
18	1,73	-1,23	2,31	NS	0,060	NS	0,013	NS
19	-0,07	0,62	-0,05	NS	NS	NS	NS	NS

Tabla 6. N disponible calculado como la suma de los nitratos en el suelo hasta 60 cm de profundidad más el contenido de N presente en el fertilizante, por tonelada de grano (Nd/R) necesario para alcanzar un determinado contenido proteico.

Contenido proteico (%)	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0
Nd/R (kg N/Tn grano)	22,1	26,4	30,8	35,3	40,0

Sci. Plant Anal. 38: 371-388.

Loewy T., H.E. Echeverría y R. Bergh. 2004. Nitrógeno en trigo: Rendimiento y calidad panadera. II. Fertilización complementaria. VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal. Bahía Blanca, Buenos Aires: 153-154.

Loewy T. y M.M. Ron. 2001. Proteína en trigo y cebada cervecera bajo fertilización nitrofosfórica. V Congreso Nacional de Trigo y III Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-invernal. Carlos Paz, Pcia. de Córdoba. Actas de la mesa de Cereales de siembra otoño-invernal.

Matthiess W., M. Serre, y M. Cattáneo. 2002. Fertilización nitrogenada en una variedad de cebada cervecera de alto potencial de rendimiento en la Argentina. Anales de la XXII Reunión Anual de Pesquisa de Cevada. Passo Fundo, Brasil.

Michiels C. y S. Degenhart. 2004. Ensayo de fertilización de cebada cervecera, var. Scarlett. Informaciones agronómicas 22:18-20.

Prystupa P., F.H. Gutierrez Boem, F. Salvagiotti, Ferraris G. y L. Couretot. 2006. Measuring corn response to fertilization in the Northern Pampas. Better Crops 90: 25-27. <

APENDICE

Un ejemplo de uso del modelo (todos los cálculos son por hectárea). Si en un lote

a) hay 50 kg de N como nitratos hasta los 60 cm de profundidad

b) quiero obtener un contenido proteico de 11%

c) estimo que el rendimiento será de 5000 kg ha⁻¹

d) planeo aplicar 50 kg de fosfato monoamónico por hectárea que contiene 5,5 kg de N

En la Tabla 6 o en la figura 5 puedo estimar que para obtener 11% de proteínas debo disponer 30,824 kg N/Tn de grano.

Considerando que el rendimiento será de 5000 kg (o 5 Tn):

$$5 \text{ Tn} * 30,8 \text{ kg N/Tn} = 154 \text{ kg N}$$

El N disponible puede provenir del suelo o de los fertilizantes. En este lote disponemos de 50 kg N

$$\text{N fertilizante} = \text{N disponible total} - \text{N suelo} = 154 \text{ kg N} - 50 \text{ kg N} = 104 \text{ kg N}$$

Pero vamos a aplicar 5,5 kg N con el fosfato monoamónico

$$\text{N fertilizante nitrogenado} = \text{N fertilizante} - \text{N fertilizante nitrofosforado}$$

$$\text{N fertilizante nitrogenado} = 104 \text{ kg N} - 5,5 \text{ kg N} = 98,5 \text{ kg N}$$

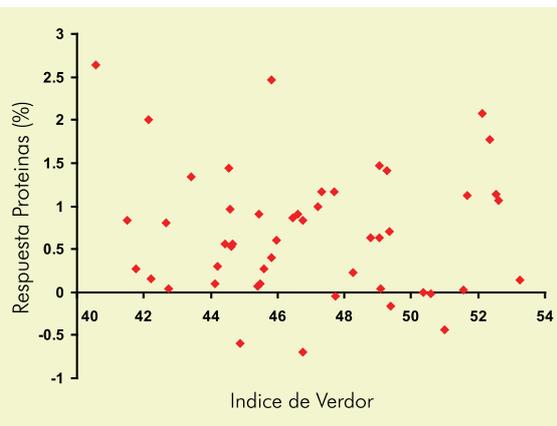


Figura 4. Relación entre la respuesta del contenido proteico de los granos a la fertilización durante espigazón y el índice de verdor de la anteúltima hoja. Cada punto representa el promedio de las 3 (o 4) observaciones realizadas en cada nivel de N inicial en cada uno de los sitios experimentales.

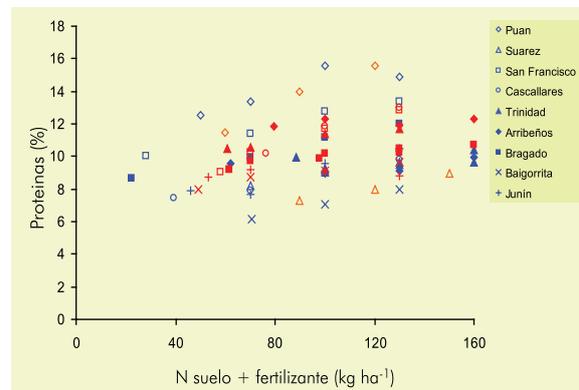


Figura 3. Proteína de los granos en función de la oferta de N (0-60 cm). Los símbolos azules corresponden a los experimentos del 2005 y los rojos a los del 2006. La línea indica la función ajustada a los ambientes de mayor rendimiento (Cascallares, Baigorrita, Bragado y Arribeños en el 2005 y Bragado en el 2006).

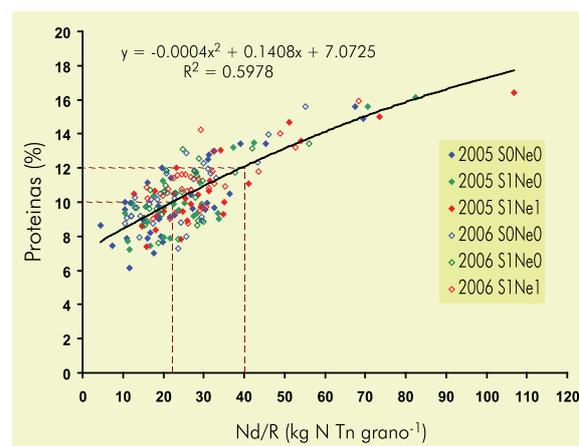


Figura 5. Relación entre el contenido proteico de los granos y el cociente entre la disponibilidad inicial de N en el suelo más el aportado por el fertilizante y el rendimiento obtenido (Nd/R). Se indica la ecuación ajustada (n = 183). Cada punto indica la media de las 3 o 4 (de acuerdo al experimento) parcelas.