

MANEJO DEL NITRÓGENO Y OTROS NUTRIENTES PARA MANTENER O AUMENTAR LA PROTEÍNA DEL GRANO EN TRIGO PAN

Adriana García Lamothe*

I. Antecedentes

En 1998 se inició el estudio: Mejora de la calidad industrial del grano en trigo pan, actividad del proyecto de investigación: Nutrición Mineral y Manejo de Fertilizantes en Cereales de Invierno. La línea de trabajo involucra una serie de experimentos cuyo objetivo principal es conocer la demanda nutricional del cultivo y evaluar estrategias de fertilización que permitan incrementar la productividad manteniendo o mejorando la calidad industrial del grano.

En 1998 se instalaron los siguientes experimentos: Fuente x Dosis de nitrógeno (N) pos-encañado; (2); Dosis x Momento de aplicación de N tardío (2), Efecto de aplicaciones de azufre (S) y micronutrientes (4); Respuesta a S y su interacción con N tardío (2); Efecto del manejo del N para obtener alto rendimiento sobre la calidad del grano y factibilidad del diagnóstico foliar para decidir fertilizaciones tardías(4), en chacra de INIA-La Estanzuela.

Resumen de resultados obtenidos:

1. Mayor eficiencia (incremento en proteína/kgN) del N aplicado pos-encañado respecto a aplicaciones más tempranas para incrementar N en el grano y gluten.
2. Ventaja del nitrato de amonio sobre la urea como fuente de N.
3. Ventaja de aplicaciones a antesis especialmente a dosis bajas de N.
4. Tendencia del Mo y Zn a favorecer la acumulación de N en el grano en algunos casos y efecto beneficioso leve sobre el GI atribuible al Zn.
5. Efecto beneficioso de la aplicación de S para incrementar proteína a la dosis de 25 kg/ha y negativo con 50 kg de S/ha.

II. Experimentos: Fuente x Dosis de Nitrógeno año 1999

Sitio E: Chacra de I. Tijereta sembrado el 14/5 con directa sobre semillero de raigrás. Fertilización: 35 kg de N/ha a la siembra, 30 kg N/ha al inicio del macollaje y 60 kg N/ha al inicio del encañado. Rendimiento promedio del experimento: 4 t/ha.

Sitio F: Chacra de I. Caburé sembrada el 16/6 convencional luego de barbecho. Fertilización: 21 kg N/ha a la siembra y con 30 kg de N/ha al inicio del encañado. Rendimiento promedio del experimento: 3.7 t/ha.

Diferencias en tratamientos respecto a experimentos del año anterior:

se bajaron las dosis de N, y el volumen de agua utilizada en las aplicaciones (300 l/ha). Se agregó otra fuente de N (UAN) y un tratamiento adicional: urea disuelta en agua + fungicida.

* Ing. Agr., MSc., Fertilidad de Suelos, Cultivos de Invierno, INIA La Estanzuela

Tratamientos:

Fuentes de N:

- 1) Urea
- 2) Nitrato de Amonio (NA)
- 3) Urea aplicada disuelta en agua (concentración = 3.6, 7 y 11 % de N)
- 4) UAN, 50:50 (urea- NA) (conc. Idem anterior).

Dosis de N a antesis: 0, 10, 20 y 30 kg de N/ha

Resultados

Rendimiento en grano

El N aplicado a antesis no afectó el rendimiento en grano en el experimento del sitio E (I. Tijereta) y tendió a disminuirlo ($P < 0.09$) en el del sitio F (I. Caburé).

Concentración de proteína en el grano

Aunque no hubo efecto estadísticamente significativo de la fuente de N o la dosis sobre el % de proteína del grano ($P < 0.05$) se observaron algunas tendencias. Por ejemplo, en el exp. F el porcentaje de proteína tendió a caer levemente con 10 kg de N/ha, incrementando luego con dosis mayores de N ($P < 0.12$). La figura 2. ilustra el efecto positivo del N sobre la proteína del grano, y la respuesta al tratamiento con UAN, la única con buen ajuste a un modelo lineal.

La aplicación de NA tendió ($P < 0.19$) a producir mayor acumulación de proteína en el grano en el exp. F. El resultado es consistente con el obtenido en 1998, aunque en el año anterior la respuesta a N fue mayor y la ventaja del NA más evidente y significativa.

En el experimento E, sólo la aplicación de 30kg de N/ha como UAN tendió a incrementar la proteína del grano ($P < 0.15\%$). En ambos experimentos con ese tratamiento (30 kg de N/ha como UAN) se obtuvo la mayor acumulación de proteína (fig. 1 y 2), requiriéndose 28 kg de N/ha para subirla una unidad, valor similar al determinado en 1998 para el NA.

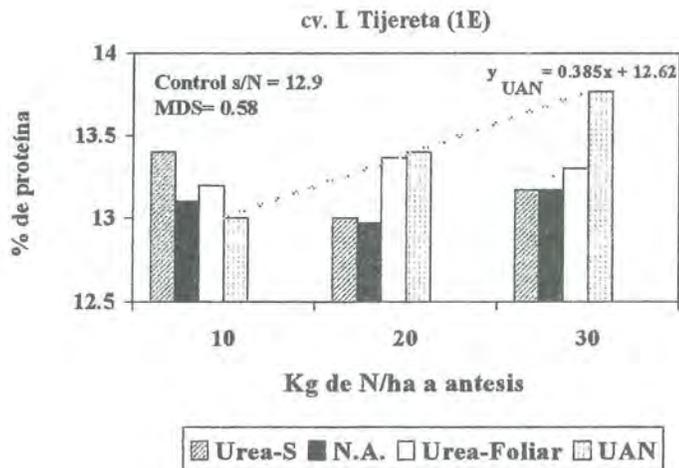


Fig. 1. Efecto de los tratamientos con N sobre la concentración proteica del grano (exp. E).

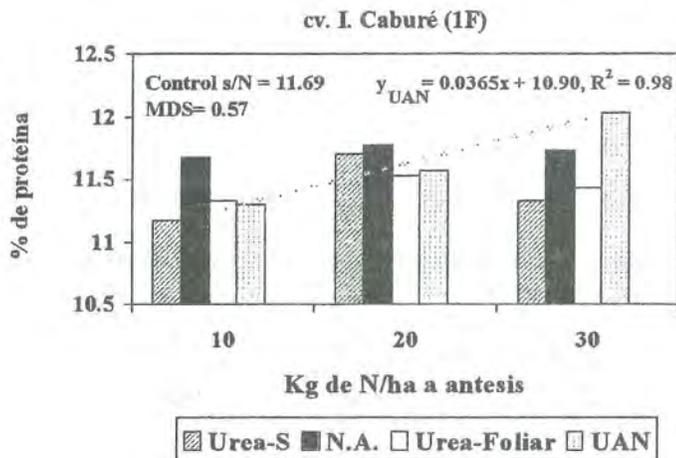


Fig. 2. Efecto de los tratamientos con N sobre la concentración proteica del grano (exp.F).

En 1999 la aplicación de urea al follaje (UF) disuelta en agua no causó daño en las hojas como ocurriera en 1998, probablemente porque las dosis crecientes de N se obtuvieron manteniendo el volumen de agua e incrementando la concentración de la solución (la solución

más concentrada fue de 24 kg de urea en 100 l de agua) lo que redujo el mojado a dosis altas respecto al año anterior. En 1998 la baja eficiencia de la UF se atribuyó al quemado de parte de la hoja bandera, en 1999 sin daño visible, la UF resultó igualmente eficiente que las otras fuentes.

Algunos estudios extranjeros sobre el uso de urea como fertilizante foliar han mostrado que mezclar la urea con otros químicos incrementa el riesgo de daño sobre el follaje. En cambio otros indican que la mezcla de urea y fungicida, penetra más fácilmente los tejidos aumentando su eficiencia. En 1999 se contrastó en tratamientos adicionales el efecto de aplicar la UF sola con el de la UF más fungicida aprovechando que el cultivo no tenía problemas sanitarios. La mezcla no causó quemado al follaje pero tampoco resultó más eficiente que la aplicación sin el fungicida(fig. 3) en ninguno de los dos cultivares evaluados, pero debe tenerse en cuenta que la escasa respuesta a las aplicaciones tardías pudo afectar de este resultado.

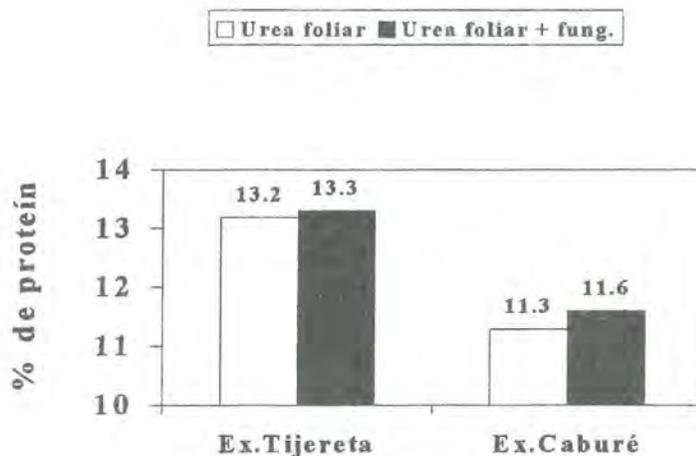


Fig. 3. Efecto de la mezcla urea + fungicida respecto al tratamiento sin fungicida sobre la concentración proteica del grano en los dos experimentos de 1999

Según la bibliografía el nitrato de amonio puede ser una fuente de N más eficiente que la urea en aplicaciones tardías, cuando la disponibilidad de agua en el suelo es baja, esto explicaría las tendencias observadas.

El UAN es una mezcla de urea y nitrato de amonio pero al aplicarse disuelto en agua es menos dependiente de la humedad del suelo y probablemente este hecho se puedan atribuir las tendencias discutidas anteriormente en los resultados de 1999.

III. Experimentos: Momento x Dosis de Nitrógeno año 1999

Sitio E: Chacra de I. Tijereta (manejo ídem al anterior). Sitio F: Chacra de I. Caburé (manejo ídem anterior). Rendimiento promedio: 4 t/ha y 3.4 t/ha respectivamente.

Diferencias en tratamientos respecto a experimentos del año anterior:

Se bajaron las dosis de N tardío y se retrasaron los momentos de aplicación. Se agregó un tratamiento adicional para evaluar el efecto de la fuente (urea vs nitrato de amonio) para el caso de la aplicación más tardía.

Tratamientos:

Momento de aplicación:

- 1) Z49 (primeras aristas visibles)
- 2) Z65 (antesis)
- 3) Z75 (grano lechoso)

Dosis de N: 0, 10, 20 y 30 kg de N/ha aplicado como urea,

- Tratamiento adicional: a Z75 dosis de N como nitrato de amonio.

Resultados

Rendimiento en grano

El N afectó levemente el rendimiento en grano independiente del momento de aplicación. En el exp. E el aumento en rendimiento fue estadísticamente significativo ($P < 0.05$) aunque de escasa magnitud ($< 10\%$). En cambio en el exp. F, con 30kg de N/ha se obtuvo un 10 % más de rendimiento en grano pero esta diferencia sólo fue significativa al 18 % de probabilidad.

Concentración de proteína en el grano

El momento de aplicación y la dosis de N no modificaron significativamente la concentración de proteína del grano (fig. 4 y 6).

En 1998 los resultados mostraron una mayor eficiencia de la aplicación de N a antesis respecto a aplicaciones más tempranas. Posiblemente los 25mm de lluvia ocurridos a fin de antesis favorecieron la eficiencia de ese momento. Aparte del efecto de la disponibilidad de agua sobre la adquisición de N del cultivo, una precipitación de tal magnitud equivale a incorporar el fertilizante al suelo lo que minimiza las pérdidas por volatilización. Pero aún en 1999 la aplicación de N a antesis tendió a ser superior a dosis baja (10 kg N/ha) y cuando se promediaron las tres dosis. Estos resultados estarían confirmando a este estado como el momento óptimo para aplicar el N tardío con el fin de aumentar la proteína del grano en los años estudiados. No obstante cabe recordar que no fueron años promedio en cuanto a las condiciones climáticas.

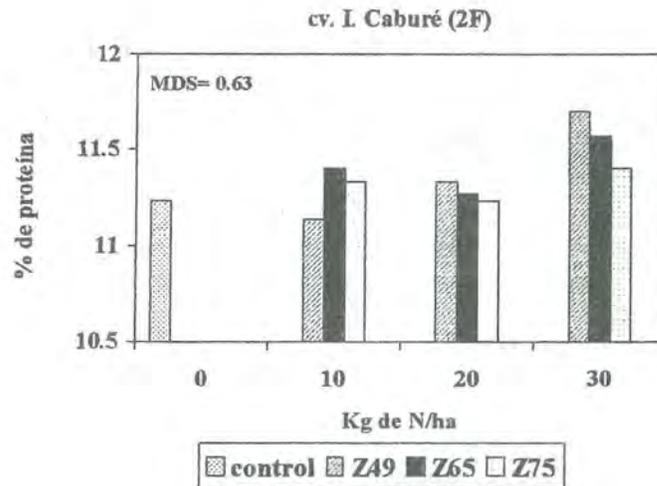


Fig. 4. Efecto del momento de aplicación de N sobre la respuesta en proteica del grano (exp. F).

Como se discutió anteriormente la baja disponibilidad de agua en el suelo podía hacer predecir una mayor eficiencia del nitrato de amonio sobre la urea para proveer N al cultivo sobretodo en el momento de fertilización más tardío (grano lechoso), sin embargo no hubo ninguna ventaja del uso del NA en vez de urea cuando el N se aplicó a Z75 (fig.5).

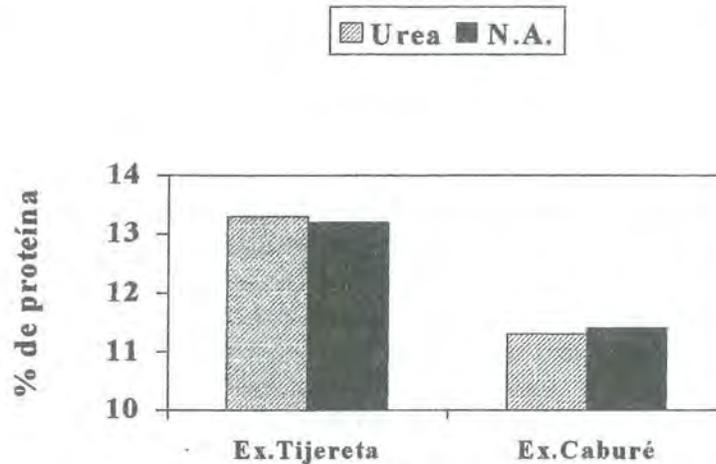


Fig. 5. Efecto de la urea vs nitrato de amonio aplicado a grano lechoso (Z75) sobre la concentración proteica del grano en los dos experimentos de 1999.

En estos dos experimentos tampoco hubo respuesta significativa al N en concentración de proteína del grano, aunque en el exp. F el N tendió a aumentarla levemente, de 11.3% a 11.6% cuando se aplicaron 30 kg de N/ha ($P < 0.16$), aumento similar al observado en el exp. E (de 13.1% a 13.4%) (fig.4 y 6). Los resultados implican que de ser la respuesta lineal se hubiese requerido 100 kg de N/ha para levantar una unidad (1%) la proteína del grano, lo que es una eficiencia muy baja para aplicaciones tardías.

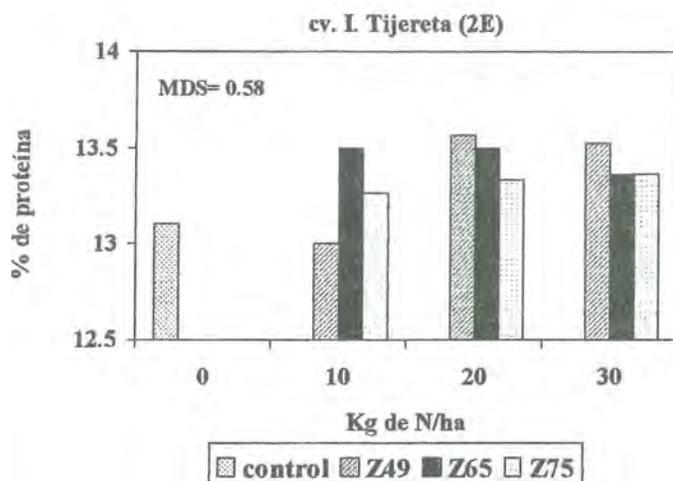


Fig. 6. Efecto del momento de aplicación de N sobre la respuesta en proteica del grano (exp.E).

IV. Experimentos: Efecto de Micronutrientes, Azufre e Interacción entre nutrientes año 1999.

Sitio E y F ,manejo ídem anterior. Rendimiento promedio exp.E (I.Tijereta) 4.1 t/ha y exp.F (I. Caburé) 3.1 t/ha:

Sitio G: Chacra de I. Mirlo sembrada convencional el 5/8 luego de girasol de 2ª. Sin N a la siembra, con 60 kg de N al macollaje. Rendimiento promedio 2.4 t/ha.

Diferencias con los tratamientos en los experimentos de 1998: no se evaluó tratamiento con cobre, se agregaron tratamientos con Molibdeno (Mo), con Zinc (Zn) y con Mo,Zn y boro (B). Los micronutrientes fueron aplicados como fertilizantes foliares (quelatados) durante el macollaje. Se bajó la dosis de S a 25 kg/ha en base a los resultados del año anterior.

Tratamientos:

Micronutrientes: (aplicación entre medidos y fin de macollaje, dosis variable según el nutriente)

- 1) Sin micronutrientes
- 2) Con Molibdeno (Mo) y Zinc (Zn)
- 3) Sólo Zn (Phyto Zinco)
- 4) Sólo Mo (Phyto Molibdenium)
- 5) Con Mo, Zn y B (Mo y Zn ídem anteriores, boro como Boroplus)

N a antesis: 0 y 30 kg de N/ha aplicado como urea

Azufre(S): 0 y 25 kg S/ha aplicado como sulfato de calcio a fin del macollaje.

Resultados

Rendimiento en grano

El N a antesis afectó significativamente la producción de granos sólo en el exp.G (I. Mirlo) dónde disminuyó el rendimiento un 11 % (280 kg/ha)($P < 0.05$), efecto negativo que se atribuyó a la interacción con el déficit de agua.

Los tratamientos de micronutrientes no afectaron el rendimiento aunque en el sitio F (I. Caburé) las parcelas con aplicación de Zn y Mo tendieron a rendir por encima del control (3.4 vs 2.9 t/ha; significativo a $P < 0.15$).

En 1998 con otros cultivares y potenciales de rendimientos por los menos 30 % más altos, no hubo ningún efecto de los micronutrientes sobre la producción de granos pero el Zinc en el suelo fue casi el doble del determinado en 1999 en el sitio F (1.0 vs 0.6 mg/kg).

Al igual que el N, el S afectó el rendimiento sólo en el experimento G ($P < 0.05$). La aplicación de 25 kg de S/ha aumentó un 13 % el rendimiento en grano (270 kg/ha). Dado el bajo rendimiento del experimento la respuesta a S se atribuyó a la mala preparación de la sementera, escaso aporte por mineralización y probablemente, pobre desarrollo radicular, el que quedó en evidencia por la cantidad de espigas que maduraron prematuramente. A antesis se determinó el S-SO₄ en el suelo en parcelas fertilizadas con S y en parcelas control siendo los valores promedio 24.2 y 7.4 mg/kg respectivamente.

Concentración de proteína en el grano

El N aplicado a antesis aumentó ($P < 0.01$) la proteína del grano en el exp. G (11.8% el control vs 12.4%) probablemente debido a la caída en rendimiento. En el exp.E (I. Tijereta) el N a antesis sólo tendió a incrementar la proteína ($P < 0.13$) (12.7 % el control s/N vs 13%) y en el F (I. Caburé) no la afectó.

Concentración de proteína en el grano (g/100g):
Experimento con I. Tijereta 1999

	Sin N a antesis	30kg/ha de N	Promedio
Sin micro	12.63	12.80	12.72 a
Mo-Zn	12.80	13.03	12.92 a
Zn	12.77	12.60	12.68 a
Mo	12.60	13.37	12.98 a
Mo-Zn-B	12.63	12.97	12.80 a
Promedio	12.68 a	12.95 a	

MDS (N) = 0.27
MDS (micro) = 0.43

Tabla 1. Efecto de la aplicación de 30 kg N/ha a antesis (urea) y de micronutrientes sobre la concentración de proteína del grano. Cv. I. Tijereta

Concentración de proteína en el grano:
Experimento con L. Caburé 1999

	Sin N a antesis	30kg/ha de N	Promedio
Sin micro	11.43	11.50	11.47 a
Mo-Zn	11.43	11.27	11.35 a
Zn	11.40	11.53	11.41 a
Mo	11.30	11.47	11.38 a
Mo-Zn-B	11.43	11.76	11.50 a
Promedio	11.40 a	12.46 a	

MDS (N) = 0.19
MDS (micro) = 0.31

Tabla 2. Efecto de la aplicación de 30 kg N/ha a antesis (urea) y de micronutrientes sobre la concentración de proteína del grano. Cv. I. Caburé

**Concentración de proteína en el grano:
Experimento con I. Mirlo 1999**

	Sin N a antesis	30kg/ha de N	Promedio
Sin micro	11.87	12.43	12.15 a
Mo-Zn	11.83	12.57	12.17 a
Zn	11.83	12.26	12.05 a
Mo	11.83	12.40	12.12 a
Mo-Zn-B	11.87	12.20	12.05 a
Promedio	11.83 b	12.38 a	

MDS (N) = 0.20

MDS (micro) = 0.31

Tabla 3. Efecto de la aplicación de 30 kg N/ha a antesis (urea) y de micronutrientes sobre la concentración de proteína del grano. Cv. I. Mirlo

Aunque los tratamientos con micronutrientes no favorecieron la acumulación de proteína, en los experimentos F y G se observaron algunas tendencias consistentes con los resultados de 1998 en tratamientos con N a antesis (tablas 4y 5), promedio de con y sin S. En el primer caso el valor más alto de proteína se obtuvo con la aplicación de Mo, Zn y B (11.73%)y en segundo con Mo y Zn (12.53%), pero los incrementos respecto al control fueron de sólo 0.26-0.23 g/100g de materia seca.

En 1998 se determinaron tendencias más marcadas de los tratamientos con Mo y Zn sobretodo sin N tardío, es probable que en parte éstas se debieran a los potenciales mucho más altos que los obtenidos en 1999, lo que implica mayores requerimientos de nutrientes.

En cuanto al efecto del S sólo fue evidente en el experimento G, dónde tendió a disminuir levemente la proteína ($P < 0.17$) lo que pudo deberse a la mayor producción de grano (Tablas 4,5 y 6) (efecto de dilución). En 1998 el S incrementó la concentración de proteína cuando se aplicó a razón de 25 kg/ha pero dosis mayores tendieron a bajarla. Parece importante definir la dosis óptima de S para mantener la calidad del grano.

Concentración de proteína en el grano (g/100g):
Experimento con I. Tijereta 1999

	Sin Azufre	25kgS/ha	Promedio
Sin micro	12.80	12.93	12.87 a
Mo-Zn	13.03	12.73	12.88 a
Zn	12.60	13.00	12.80 a
Mo	13.37	12.77	13.07 a
Mo-Zn-B	12.97	12.77	12.87 a
Promedio	12.95 a	12.84 a	

MDS (S) = 0.31
MDS (micro) = 0.49

Tabla 4. Efecto del azufre (25 kg/ha) y de tratamientos con micronutrientes sobre la concentración de proteína del grano(g/100g de MS), en tratamientos con 30 kg/ha de N a antesis (exp.E).

Concentración de la proteína en el grano:
Experimento con I. Caburé 1999

	Sin Azufre	25kgS/ha	Promedio
Sin micro	11.50	11.43	11.47 ab
Mo-Zn	11.27	11.33	11.30 b
Zn	11.53	11.37	11.45 ab
Mo	11.47	11.43	11.45 ab
Mo-Zn-B	11.83	11.73	11.73 a
Promedio	11.46 a	11.46 a	

MDS (S) = 0.22
MDS (micro) = 0.35

Tabla 5. Efecto del azufre (25 kg/ha) y de tratamientos con micronutrientes sobre la concentración de proteína del grano(g/100g de MS), en tratamientos con 30 kg/ha de N a antesis (exp. F).

Concentración de proteína en el grano (g/100g):
Experimento con I. Mirlo 1999

	Sin Azufre	25kgS/ha	Promedio
Sin micro	12.43	12.17	12.30 ab
Mo-Zn	12.57	12.50	12.53 a
Zn	12.26	12.23	12.25 ab
Mo	12.40	12.13	12.27 ab
Mo-Zn-B	12.2	12.17	12.20 b
Promedio	12.38 a	12.24 a	

MDS (S) = 0.19

MDS (micro) = 0.31

Tabla 6. Efecto del azufre (25 kg/ha) y de tratamientos con micronutrientes sobre la concentración de proteína del grano (g/100g de MS), en tratamientos con 30 kg/ha de N a antesis. (exp. G).

V. Experimentos: Respuesta a Azufre: Dosis e Interacción con N a Antesis año 1999

Sitio F, manejo ídem anteriores, excepto que un experimento (F norte) no fue refertilizado con N a fin de macollaje. Rendimiento promedio F-sur: 3.9 t/ha, F-norte: 3.7 t/ha:

Sitio H: Chacra de I. Mirlo en sistema bajo siembra directa, sembrado el 27/6 sobre rastrojo de girasol. Rendimiento promedio 2.8 t/ha. Manejo previo de N: 45 kg de N/ha iniciales y 70 kg de N/ha a fin del macollaje.

Diferencia de tratamientos con los experimentos de 1998: Se redujeron a la mitad las dosis de azufre por haberse determinado efecto negativo sobre la concentración de proteína del grano con 50 kg S/ha y potenciales de rendimiento elevados.

Tratamientos:

Dosis de Azufre: (aplicación de sulfato de calcio a fin de macollaje) 0-12.5 y 25 kg de S/ha

N a antesis: 0-10-20 y 30 kg de N/ha aplicado como urea

Resultados

Rendimiento en grano

El N a antesis no afectó el rendimiento en grano en ninguno de los experimentos, en cambio la aplicación de S incrementó el rendimiento en el exp.F-norte ($P < 0.05$) y tendió a incrementarlo ($P < 0.25$) en el exp.F-sur. La aplicación de 12.5 kg de S/ha a fin del macollaje incrementó un 12 % el rendimiento en grano (420 kg/ha) en el primer caso pero no hubo respuesta a la dosis más alta. Este incremento fue de magnitud similar al obtenido en el exp. F-

sur con 25 kg de S/ha. Si bien la eficiencia de la fertilización con S fue menor en este último experimento el rendimiento alcanzado fue mayor (tabla 7) y la respuesta a S del tipo lineal. La fertilización con N a fin del macollaje en el Exp.F-sur pudo haber prolongado la actividad de las raíces haciendo que el S fuera menos limitante en este caso lo que explicaría esta aparente interacción negativa N x S. En el experimento H (l. Mirlo bajo siembra directa) no hubo respuesta al azufre.

	0 kg S/ha	12.5 kg S/ha	25 kg S/ha
Exp. F Norte s/N a fin mac.	3500 b	3920^a	3700ab
Exp. F Sur c/N a fin mac.	3660a	3820 ^a	4120a
Exp. l. Mirlo	2800a	2850 ^a	2800a

Tabla 7. Respuesta al azufre en rendimiento en grano en tres experimentos de 1999.

Concentración de proteína en el grano

El azufre modificó la concentración de proteína del grano ($P < 0.10$) en el exp. F-norte (l. Caburé). La fertilización con 25 kg de S/ha incrementó la proteína de 10.8 a 11.2% (tabla 8). Este incremento no se debió a una caída del rendimiento ya que por el contrario, se determinó un aumento en la producción de granos debido al tratamiento con azufre. Aparentemente la mayor disponibilidad de S favoreció la síntesis de proteína.

	0 kg S/ha	12.5 kg S/ha	25 kg S/ha
Exp. F Norte s/N a fin mac.	10.8ab	10.6b	11.2^a
Exp. F Sur c/N a fin mac.	11.3a	11.4a	11.2 ^a
Exp. l. Mirlo	12.2a	12.1a	12.3 ^a

Tabla 8. Respuesta al azufre(S) en concentración proteica del grano (g/100g de MS) en tres experimentos de 1999. (Valores promedio de tratamientos con N a antesis)

El N a antesis incrementó la proteína del grano en el exp.F-Norte ($P < 0.10$) y en H ($P < 0.05$), y tendió a aumentarla ($P < 0.17$) en el exp. F-Sur (l. Caburé) (fig. 7). Es probable que la mayor disponibilidad de agua en el experimento bajo siembra directa haya favorecido la respuesta a N en proteína del grano, pero además como se viera en 1998, en SD el N del suelo sería más limitante que en una chacra con laboreo convencional.

Puede verse en la figura 7 que la diferencia en proteína en el grano entre experimentos con y sin N a fin de macollaje prácticamente desapareció con la aplicación de 30 kg de N/ha a antesis. Los diferentes momentos de fertilización (fin de macollaje-antesis) fueron de similar eficiencia para incrementar la proteína, pero el rendimiento en proteína (kg proteína /ha) fue mayor en el primer caso porque se obtuvo mayor producción de grano.

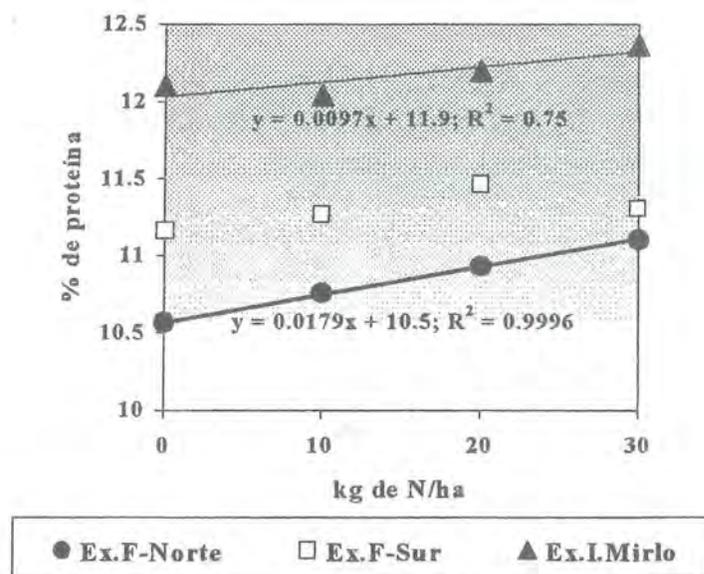


Figura 7. Respuesta al N a antesis de la concentración de proteína en el grano en tres experimentos de 1999 (I. Caburé e I. Mirlo). Valores promedio de tratamientos con azufre.

VI. Efecto de Diferentes Estrategias de Fertilización sobre la Proteína del Grano: año 1998.

En 1998 se instalaron 3 experimentos para evaluar el efecto de dos momentos de fertilización con N sobre la calidad del grano.

Sitio A. Cultivo anterior trigo luego de pradera de T. Rojo.Cv. I. Mirlo.

Sitio B. Cultivo anterior: maíz para silo luego de semillero de gramínea.- Cv: I. Mirlo.

Sitio SD. Trigo sembrado sobre rastrojo de maíz en un sistema bajo siembra directa.

Tratamientos:

Momentos de fertilización:

- al inicio del macollaje (Z22) y
- al inicio del encañado (Z31) .

Niveles de N (urea) a Z22 (5):

- 0-30-60-90 y 120 kg N/ha

Niveles de N (urea) a Z31 (4):

- 0-30-60-90 kg N/ha

Resultados

Rendimiento en grano

En los sitios B y SD no hubo diferencia significativa en producción de grano entre momentos de aplicación, en el exp.A en cambio, fue más eficiente la aplicación al inicio del encañado (Z31) (fig.8).

Concentración de proteína en el grano

En términos de incremento en proteína también en el exp.A resultó más eficiente aplicar el N a Z31 (43 vs 83 kg de N/ha para elevar una unidad la proteína) y más aún en el de siembra directa (SD). En este último el N aplicado a Z22 no tuvo efecto sobre la proteína del grano mientras que por cada 40 kg de N/ha al encañado se levantó una unidad (1%) la proteína. En el exp.B aunque el incremento logrado por unidad de N fue similar para los dos momentos de fertilización, cuando el N se aplicó a Z31 los valores de proteína alcanzados fueron significativamente más altos que cuando se aplicó a Z22 (fig.8).

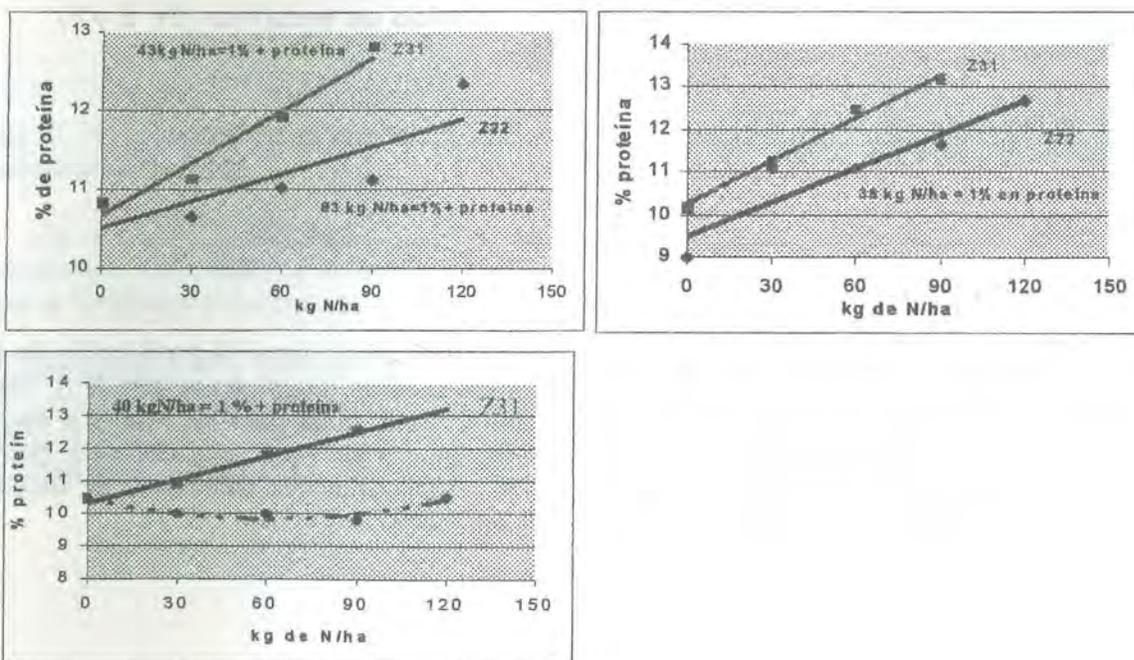


Figura 8 Efecto del momento de aplicación de dosis crecientes de N (Z22 o Z31) sobre la concentración de proteína del grano.

En base a estos resultados puede concluirse que cuando las condiciones ambientales no favorecen pérdidas de N, o el desarrollo de enfermedades como en 1998, la fertilización a Z22 y a Z31 puede ser igualmente eficiente para aumentar la producción de grano pero el impacto sobre la proteína del grano es mayor cuando se fertiliza al inicio del encañado.

VII. Respuesta al N a antesis y su interacción con la cantidad de fertilizante aplicado en estados vegetativos del cultivo (pre-encañado) .

En 1999 se instalaron tres experimentos para cuantificar la respuesta a N en los diferentes sitios experimentales y evaluar el efecto de la fertilización previa al encañado sobre la respuesta a aplicaciones de N posteriores al encañado.

Sitio E: Chacra de I. Tijereta sembrado el 14/5 con directa sobre semillero de raigrás, con 35 kg de N/ha a la siembra.

Sitio F: Chacra de I. Caburé sembrada el 16/6 convencional, con 21 kg N/ha a la siembra .

Sitio G: Chacra de I. Mirlo sembrada convencional el 5/8 luego de girasol, sin N a la siembra.

Tratamientos :

Niveles de N (urea) anteriores al encañado(4):

- 0-60-120 y 180 kgN/ha, ½ inicio del macollaje-½ inicio del encañado (Ex. E y F)
- 0-30-60-90 kgN/ha todo al macollaje (Ex. G).

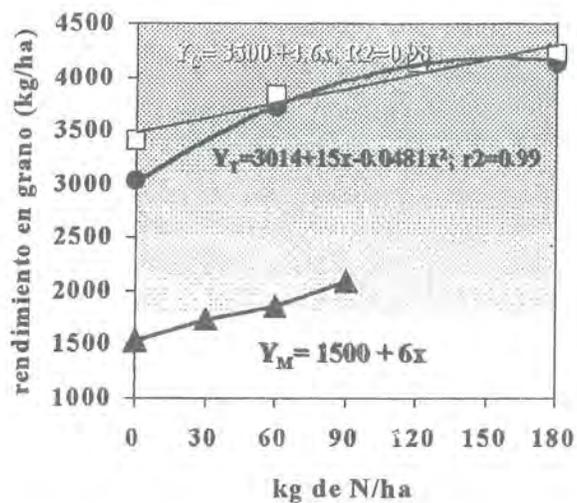
Niveles de N (urea) a antesis (4):

0-10-20 y 30 kg de N/ha

Resultados

Rendimiento en grano

El N aplicado antes del encañado incrementó significativamente la producción de grano en los tres experimentos($P<0.001$) (fig.9). La respuesta a N fue mayor en el exp. E (I. Tijereta) en dónde se logró casi un 40 % de incremento en rendimiento (más de 1000 kg/ha) a través de la fertilización con N. El N fue más limitante en esta chacra sin laboreo y con una gramínea como cultivo antecesor, y la mayor disponibilidad de agua del cultivo sembrado en mayo, con siembra directa permitió un uso eficiente del N del fertilizante.



● Ex. E(Tijereta) □ Ex.F(Caburé) ▲ Ex.G(Mirlo)

Figura 9. Respuesta en grano al N aplicado en estado vegetativo del cultivo, en tres experimentos de 1999.

En el sitio G (I.Mirlo) y F (I.Caburé) se logró un aumento en rendimiento de 30 y 20 % aproximadamente mediante la fertilización con N. Esta práctica resultó rentable aún en el caso en que la fertilización fue menos eficiente, incluso con precios de trigo de 90U\$/ton.

En cambio el N aplicado a antesis no tuvo efecto significativo sobre el rendimiento en grano, aunque en el experimento G se observó que la respuesta a N dependía del nivel de N aplicado al macollaje. Con 60 o más kg de N/ha previo al encañado, el N a antesis tendió a bajar levemente la producción de granos (fig.10) (interac. Negativa, sig. $P < 0.10$).

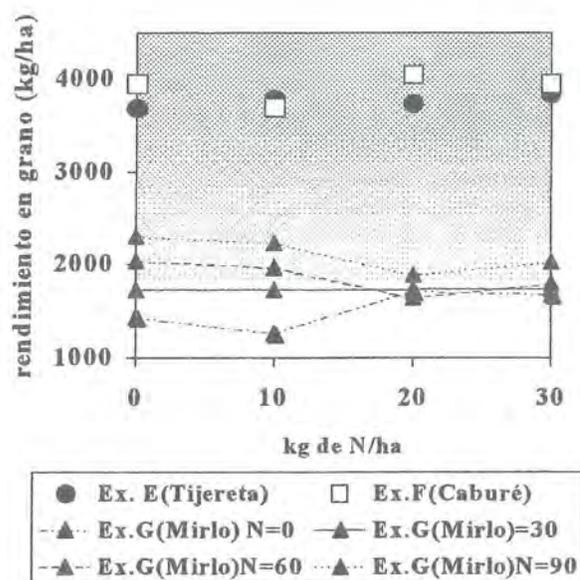


Figura 10. Respuesta en grano al N aplicado a antesis en tres experimentos de 1999.

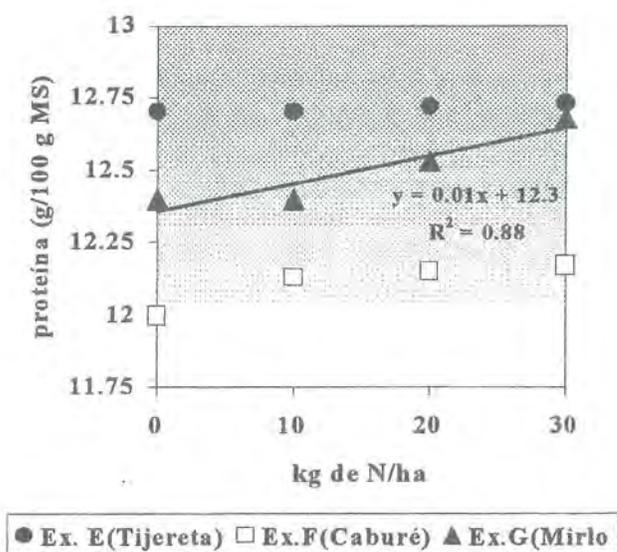


Figura 11. Respuesta en concentración de proteína en el grano al N aplicado a antesis en tres experimentos de 1999.

Concentración de proteína en el grano

Como el 1998, la fertilización con N previa al encañado tuvo efecto significativo sobre la proteína del grano en los tres experimentos (E, F y G) ($P < 0.001$ y $P < 0.05$). En cambio, las aplicaciones de N a antesis sólo tendieron a incrementar levemente el % de proteína. En el experimento G (I. Mirlo) la tendencia fue más marcada ($P < 0.16$) y atribuible por un lado al efecto negativo de algunos tratamientos sobre el rendimiento, y por otro a la cantidad de N aplicada antes del encañado, menor a los requerimientos del cultivo.

VIII. Predicción de la necesidad de N tardío:

Diagnóstico foliar

El diagnóstico foliar se basa en la premisa que la cantidad de un nutriente en la planta está relacionada a su disponibilidad en el suelo. El nivel crítico es el valor, en este caso % de N en los tejidos vegetales, por debajo del cual el nutriente es insuficiente para alcanzar un cierto rendimiento del cultivo. En trigo y cebada la concentración de N en plantas a Z30 (fin del macollaje) permite identificar cultivos deficientes en N donde es muy probable encontrar respuesta al agregado del nutriente.

Este estudio pretende establecer si el % de N en la última hoja desarrollada a Z38-40 puede usarse como indicador para decidir una aplicación de N tardía.

Resultados

Se observó una buena correlación ($r = 0.81^{***}$) entre % de N en la hoja superior a Z40 (hoja bandera o anterior) y el % de proteína en el grano cosechado (fig.12). Con una concentración de N en los tejidos de 2.7 % o mayor fue baja la probabilidad de obtener grano con tenor de proteína menor a 11.5%.

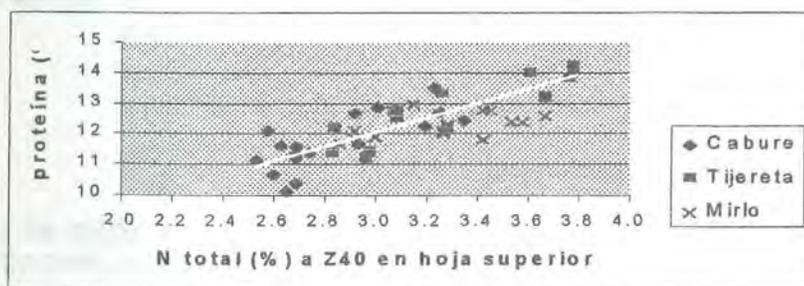


Figura 12. Correlación entre N total (%) en hoja bandera y la concentración de proteína en el grano.

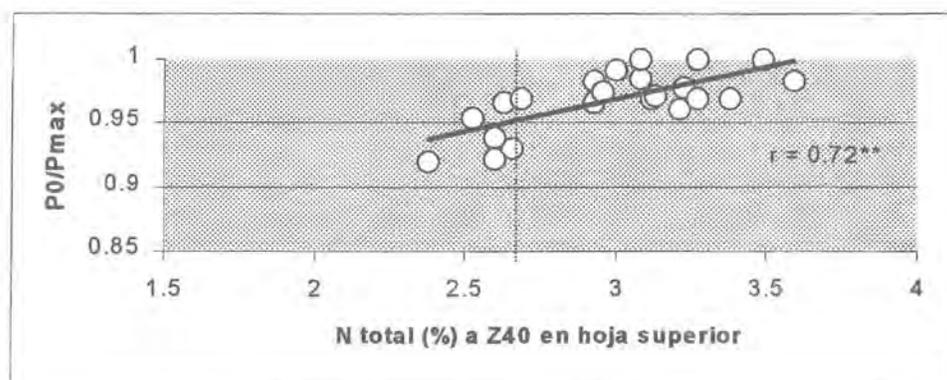


Figura 13. Correlación entre % de N en la hoja bandera a Z40 y un índice de respuesta a N en proteína (concentración de proteína en el testigo/valor más alto alcanzado por fertilización)

Puede verse en la figura 13 que con ese nivel de N en la hoja superior (2.7%) la concentración de proteína en el grano cosechado fue 95 % de la máximo valor obtenido a través del agregado de N posterior al encañado.

Los resultados indican que el % de N determinado en la última hoja desarrollada a Z38-40 puede ser usado como indicador de la probable respuesta a N en proteína. El valor de 2.7 % puede considerarse como el nivel crítico, un valor por encima de 2.7 % no justificaría la aplicación de N, valores cercanos a 2.7% indicarían que aunque es probable encontrar respuesta al agregado de N tardío ésta será escasa. A medida que los valores son más bajos la probabilidad de encontrar respuesta significativa y lineal al N aumenta.

IX. Resumen

Efecto del N tardío sobre la proteína del grano

En 1998 en el 10 de 12 experimentos la respuesta al N tardío en concentración de proteína en el grano fue significativa. En 1999 el efecto fue significativo ($P < 0.10$) sólo en el 23 % de los casos, en el 38 % el N sólo tendió a incrementar la proteína y en el resto no tuvo ningún efecto. La baja efectividad de las aplicaciones tardías en 1999 no puede atribuirse al retraso de la aplicación (de espigazón a antesis), ya que la fertilización a antesis fue más efectiva. Si bien no puede descartarse algún efecto varietal, es probable que la falta de agua haya sido un factor importante, y sobretodo, los diferentes potenciales de rendimiento alcanzados en los experimentos de uno y otro año.

Independientemente de las diferencias en respuesta entre años, a los precios actuales del N y del grano de trigo considerando una bonificación de 2 % por cada 1% de incremento en proteína (base 11.5 %), en la mayoría los casos de 1998-1999 la fertilización con N posterior al encañado no resultó una práctica económicamente rentable para incrementar la proteína del grano. La mejor estrategia de fertilización desde el punto de vista financiero fue aplicar una dosis óptima de N al inicio del encañado con la cual en la mayoría de los casos, se consiguió aumentar rendimiento y proteína.

Bajo las condiciones particulares de los años evaluados hubo poca diferencia entre fuentes de N para incrementar la proteína del grano. El nitrato de amonio en los dos años, pero sobretodo en 1998 pareció tener mayor impacto. El UAN pareció más efectivo a dosis altas, pero los resultados no son concluyentes. No obstante es probable que en años promedio la diferencia entre fuentes sea menor, como se viera en 1999 bajo SD y que la elección de una u otra fuente dependa exclusivamente de consideraciones económicas o prácticas.

El momento óptimo para aplicar N tardío con el fin de aumentar la proteína del grano fue a antesis. En 1998 las aplicaciones de N en este estado del cultivo resultaron más efectivas que en los otros momentos evaluados y aunque los resultados de 1999 sólo mostraron tendencias, éstas confirmaron los resultados del año anterior.

Los resultados de tratamientos con Mo y Zn ameritan estudios posteriores. En 1998 las tendencias fueron más claras que en 1999 probablemente porque potenciales de rendimiento más altos están asociados a requerimientos más altos. Los resultados de 1999 en cambio parecieron responder a condiciones del suelo. En este sentido el análisis de suelo es una herramienta útil que para predecir la posibilidad de una deficiencia.

La deficiencia de azufre puede llegar a tener un efecto tanto sobre rendimiento como sobre la proteína del grano, esto fue evidente sobretodo en dos experimentos de 1999. A través de la fertilización con azufre se pudo incrementar la concentración de proteína del grano pero el efecto dependió de la dosis aplicada y del manejo del N. En 1998 se vio además que una adecuada disponibilidad de azufre tiende a mantener buenos valores de gluten index. Estos parámetros aún no han sido analizados para 1999.