

FERTILIZACIÓN FOLIAR CON NITRÓGENO EN TRIGO EN EL SUDOESTE BONAERENSE

MARÍA ROSA LANDRISCINI^{1-3*}; JUAN MANUEL MARTÍNEZ¹⁻³ & JUAN ALBERTO GALANTINI²⁻³

Recibido: 23-12-14

Recibido con revisiones: 17-04-15

Aceptado: 04-05-15

RESUMEN

En la región semiárida y subhúmeda pampeana, la aplicación foliar de nitrógeno (N) en trigo (*Triticum aestivum* L.) en antesis coincide con un período de erraticidad de las precipitaciones definidor del rendimiento y calidad. Los objetivos del trabajo fueron evaluar el efecto de la aplicación de N foliar sobre el rendimiento y calidad del grano en el Sudoeste bonaerense ante variaciones climáticas y de fertilidad de suelo y aplicar el análisis de componentes principales (ACP) en las variables originales. Se realizaron 30 ensayos entre 2004 a 2012. Se aplicaron 0, 25, 50 y 100 kg de N ha⁻¹ a la siembra y 25 kg de N ha⁻¹ en antesis en forma foliar. La disponibilidad de agua para el cultivo fue variable, lo que provocó diferencias en la producción. El ANOVA no mostró diferencias significativas en el rendimiento de grano ni para el N a la siembra ni el N foliar pero produjo aumento en la proteína del grano en 25 de los 30 ensayos. A través de todos los ensayos, los tratamientos testigo rindieron entre 1784 y 2600 kg ha⁻¹ con respuestas al N foliar de entre 145 y 1273 kg ha⁻¹. El porcentaje de proteína en promedio de 132 g kg⁻¹, se incrementó un 11% cuando se fertilizó en antesis. La escasez y la mala distribución de las precipitaciones en los años de estudio, limitó el rendimiento y la respuesta al N foliar. El tratamiento a la siembra que produjo la máxima respuesta al foliar, varió entre las dosis. El ACP mostró que las variables con mayor influencia sobre el rendimiento y la proteína fueron las lluvias de Septiembre, Octubre y Noviembre, materia seca en antesis, agua a la siembra y N disponible. El rendimiento se estimó con un 72% de confiabilidad y la proteína con un 59%. En estos ambientes, la aplicación de N foliar resultó una práctica útil para el aumento de proteína y con resultados variables para el rendimiento.

Palabras clave. Nitrógeno, Antesis, Rendimiento, Calidad.

FOLIAR NITROGEN FERTILIZATION OF WHEAT IN THE SOUTHWESTERN PAMPAS

ABSTRACT

In the semiarid and sub humid Pampean region, foliar nitrogen (N) application to wheat at anthesis stage coincides with an erratic rainfall period which defines yield and quality. The objectives of the study were to evaluate the effect of foliar N application at anthesis on wheat grain yield and quality in Southwestern Buenos Aires Province, an area characterized by climate and soil fertility variations, and to apply principal component analyses (ACP) on all variables. A total of 30 experiments were conducted from 2004 to 2012 with N rates of 0, 25, 50 and 100 kg N ha⁻¹ applied at sowing and 25 kg ha⁻¹ at anthesis. Water availability was variable in the study period, which caused significant yield variations. The ANOVA for all the experiments showed no significant differences for N at sowing or at anthesis, but it indicated a protein increase in 25 of the 30 experiments. In all trials, yield from the control treatment ranged from 1784 to 2600 kg ha⁻¹ and N foliar application response from 145 to 1273 kg ha⁻¹. The grain protein content, which averaged 132 g kg⁻¹, increased 11% with N fertilization at anthesis. Low and poorly distributed rainfall limited yield and foliar N response. Nitrogen rates at sowing that produced the maximum response to foliar application ranged from 0 to 100 kg N ha⁻¹. The most influential variables in ACP were September, October and November rainfall, dry matter at Z60, soil water content at sowing and N availability. The yield was estimated with 72% confidence and protein with 59%. In these environments, foliar N application resulted in variable grain yield but it proved to be a useful practice for enhancing protein concentration.

Key words. Nitrogen, Anthesis, Yield, Grain quality.

¹ CONICET

² Comisión de Investigaciones Científicas-CERZOS

³ Dpto. Agronomía, Universidad Nacional del Sur

* Autor de contacto: mlandris@criba.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La necesidad de incrementar la productividad del trigo (*Triticum aestivum* L.) manteniendo o mejorando la calidad comercial e industrial del grano, hace de la fertilización una técnica fundamental en la producción triguera. El agua, el nitrógeno (N) y en menor grado el azufre (S) condicionan con mayor frecuencia la obtención de contenidos adecuados de gluten y de proteína en los granos de trigo (Wooding *et al.*, 2000). Ambos elementos no deben ser considerados en forma separada ya que tienen efectos determinantes sobre el rendimiento y la calidad del grano, ya sea en la harina como en la masa (Moss *et al.*, 1981).

El clima del sudoeste bonaerense se caracteriza por escasez de agua y estrés térmico durante el desarrollo del trigo. Esto origina grandes fluctuaciones, no sólo en el rendimiento, sino en la calidad de los granos, e influye sobre los productos para panificación (Slafer *et al.*, 1990).

Está demostrado que en las regiones semiáridas, la disponibilidad de agua tiene una influencia fundamental en la producción de grano y que la misma está determinada tanto por la cantidad como por la distribución de la lluvia y la capacidad del suelo para almacenar el agua (Satorre & Slafer, 1999).

Alta disponibilidad de N durante el macollaje, donde normalmente no hay deficiencia de agua, favorecerá el desarrollo de abundante materia seca que difícilmente pueda reflejarse en rendimiento si las condiciones meteorológicas posteriores no son las adecuadas para el cultivo (Garrido-Lestache *et al.*, 2004). Otros estudios (López-Bellido *et al.*, 2012) han demostrado que las aplicaciones de N particionadas han resultado en mayor recuperación de N por la planta respecto a aplicaciones en un sólo momento. Sin embargo, se debería ajustar la estrategia de fertilización para casos particulares teniendo en cuenta la fertilidad inicial del suelo (Recous & Machet, 1999). En estadios vegetativos del ciclo del cultivo, la disponibilidad de N afecta el rendimiento, mientras que en estadios reproductivos, el N afecta principalmente la calidad del grano (Sarandón & Caldiz, 1990; Sarandón *et al.*, 2000). El efecto beneficioso de la división del N puede relacionarse con la reducción de pérdidas y la translocación de asimilados al grano (Laurent *et al.*, 1996).

Un fenómeno importante de los últimos años fue la difusión y adopción de fertilizantes foliares, los que pueden aplicarse en etapas avanzadas del cultivo para mejorar la calidad, y en algunos casos el rendimiento. Esta estrategia se considera promisoría bajo condiciones de adecua-

da disponibilidad hídrica (Berg *et al.*, 2003; Reussi Calvo & Echeverría, 2006). Múltiples estudios llevados a cabo desde el siglo pasado han demostrado que la superficie de la planta es permeable a los fertilizantes foliares. Esta permeabilidad permite el suministro de nutrientes a los tejidos y órganos obviando la absorción radicular y los mecanismos de desplazamiento que pueden limitar el suministro de nutrientes a las plantas bajo ciertas condiciones de crecimiento (Fernández *et al.*, 2013).

Es un concepto generalizado el que asigna a la fertilización foliar el rol específico de mejorar la calidad del grano y, en particular, su concentración de proteína (Tea *et al.*, 2004). La experimentación en los últimos años en zonas sin déficit hídrico, revela que esta técnica no excluye aumentos de rendimiento (Díaz-Zorita *et al.*, 2001; Bergh *et al.*, 2003). El estado nutricional de la planta previo a la aplicación foliar tiene un efecto significativo en respuesta a los fertilizantes foliares. En el caso de una deficiencia nitrogenada severa puede reducir la absorción foliar alterando la composición física y química de la hoja (Fageria *et al.*, 2009). El efecto positivo de la urea foliar en el contenido de N del grano es relativamente consistente en la bibliografía, mientras que la influencia en la calidad panadera es variable. En este sentido se han reportado pobres respuestas a las aplicaciones de urea con efectos negativos en la relación N:S asociados a cambios en las fracciones proteicas del grano. Los mismos autores han reportado efectos más consistentes sobre la calidad panadera con mejoras en la nutrición azufrada (Gooding *et al.*, 1991; Gooding & Davies, 1992).

Fageria *et al.* (2009) en Brasil, informaron que las aplicaciones foliares a los cereales, igual que en el caso de la fertilización al suelo, serían menos efectivas cuando la humedad edáfica es limitante. En el caso del uso de esta tecnología de espray, la aplicación foliar de N podrá tener beneficios sobre la tradicional fertilización, incrementando el contenido proteico del grano y la calidad panadera, cuando el momento de aplicación se realice en antesis o post-antesis.

Woolfolk *et al.* (2002) reportaron asociaciones entre las aplicaciones foliares y daño por quemado de la hoja. Un aspecto muy importante a tener en cuenta para una eficiente absorción del N, es elegir el momento del día más adecuado para la fertilización foliar.

Debido a que muchas propiedades edafoclimáticas, que contribuyen a explicar el rendimiento y la calidad del cultivo se encuentran altamente correlacionadas, es necesaria-

rio llevar a cabo una evaluación mediante métodos estadísticos que consideren todas estas variables simultáneamente y la correlación entre ellas (Bredja *et al.*, 2000). El análisis de componentes principales (ACP) construye nuevas variables no correlacionadas o componentes principales, basándose en la matriz de correlación. Permite analizar la interdependencia de variables y encontrar una representación gráfica óptima de la variabilidad de los datos (Bi-plot), donde pueden visualizarse tanto tratamientos como variables, a fin de estudiar la asociación existente entre ellas. Esta técnica examina todos los datos en un espacio de menor dimensión al espacio original de las variables, identificando las propiedades más sensibles en los tratamientos estudiados. Se construyen ejes artificiales llamados componentes principales (CP), que permiten obtener gráficos de dispersión de observaciones y/o variables no correlacionadas, con propiedades óptimas para la interpretación de la variabilidad y covariabilidad subyacente (Balzarini *et al.*, 2008).

A partir del conocimiento de que la fertilización foliar es una técnica complementaria utilizada cuando las aplicaciones al suelo resultan ineficientes y que el Sudoeste bonaerense presenta prolongados períodos de déficit hídrico en la etapa de llenado del grano, se plantearon las siguientes hipótesis: en trigo, la respuesta en el rendimiento a la fertilización foliar es muy variable y generalmente se asocia a rendimientos bajos y a la escasa disponibilidad de agua en el período crítico del desarrollo del cultivo, como es la etapa de llenado del grano. El N foliar teniendo en cuenta el momento más adecuado de aplicación, tendrá un impacto diferencial sobre la calidad del grano de trigo.

Los objetivos del trabajo fueron: evaluar el efecto de la aplicación complementaria de N foliar en antesis sobre el rendimiento y calidad del grano de trigo bajo diferentes situaciones de fertilidad inicial, en el Sudoeste bonaerense sujeto a variaciones edafoclimáticas. Y en segundo término, aplicar el ACP en combinaciones lineales de todas las variables originales, para seleccionar aquellas que puedan ser consideradas y medidas en estudios futuros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de los lotes

Se realizó un total de 30 ensayos de fertilización en los años 2004, 2008, 2010, 2011 y 2012, en lotes con diferentes condiciones de fertilidad, distribuidos geográficamente en el Sudoeste bonaerense (Landriscini *et al.*, 2014). Los sitios experimentales (Tabla 1) localizados en los partidos de Cnel. Dorrego, Tornquist y Saavedra, pertenecen a productores agropecuarios de la Regional Bahía Blanca de AAPRESID. Esta extensa área tiene, desde el punto de vista edafoclimático, un gradiente de precipitación que determina un régimen de humedad de suelo údico hacia el lado de las sierras y ústico hacia los sitios más cercanos a Bahía Blanca (Soil Survey Staff, 2010). Están comprendidos climáticamente tanto en la región semiárida como subhúmeda, con precipitaciones que oscilan entre 500 y 800 mm anuales, presentando una marcada variabilidad anual en la distribución como en la cantidad (Fig. 1).

En la Tabla 1 se informan detalles de los sitios y las variedades de trigo utilizadas. Todos los sitios tuvieron trigo como cultivo antecesor, con excepción de los sitios 6 y 8, que tuvieron cebada y soja, respectivamente.

Tabla 1. Año, ubicación de los sitios experimentales, número de ensayos por sitio, clasificación del suelo, variedades de trigo y precipitación anual y en el ciclo del trigo (junio-diciembre).

Table 1. Year, locations, soil classification, annual and crop cycle (June-December) rainfall and wheat variety

Sitio*	Año	Nombre	Localidad	Clasificación	Variedad	Precipitaciones, mm	
				Taxonómica	de trigo	anual	CC
1 (1)	2004	Cumelén	Las Oscuras	Argiustol Típico	Buck Guapo	1070	440
2 (2)	2008	Los Charos	Pehuen Có	Haplustol Éntico	Buck Guapo	410	137
3 (3)	2008	Las Ruinas	Tornquist	Argiudol Típico	Baguette P. 11	533	191
4 (4)	2010	Hogar Funke	Tornquist	Argiudol Típico	Buck Poncho	695	255
5 (4)	2010	Las Ruinas	Tornquist	Argiudol Típico	Baguette P. 11	550	237
6 (4)	2011	El Martillo	Guisasola	Argiustol Típico	Baguette P. 11	648	282
7 (5)	2011	Cumelén	Las Oscuras	Argiustol Típico	Buck Guapo	470	216
8 (3)	2012	Las Lomas	Pigüé	Argiudol Típico	Buck Sureño	1045	410
9 (4)	2012	Cumelén	Las Oscuras	Argiustol Típico	Buck Guapo	624	252

*entre paréntesis número de ensayos en cada sitio.

CC: ciclo de cultivo

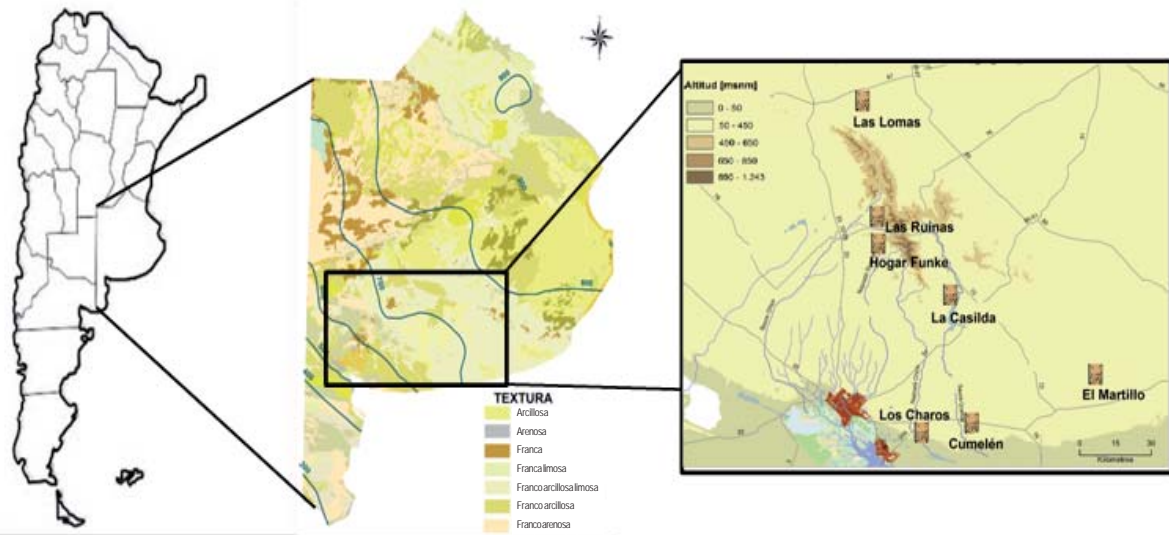


Figura 1. Ubicación de los sitios utilizados en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

Figure 1. Location of sites in Southwestern Buenos Aires province, Argentina.

Diseño experimental

El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con tres réplicas con parcela dividida. El factor principal correspondió al tratamiento fertilización inicial con N y el factor secundario el tratamiento de fertilización foliar complementaria.

Para evaluar el efecto de la fertilización foliar en distintas situaciones de fertilidad inicial se incluyeron en cada sitio parcelas fertilizadas combinando N y S a la siembra.

Se fertilizó con 4 dosis de N (0, 25, 50 y 100 kg N ha⁻¹) como urea granulada (46-0-0) a la siembra (fertilización inicial). Los tratamientos con N se dividieron en: sin S y con S (+S), combinando urea más sulfato de amonio (21-0-0-24).

Las parcelas tuvieron una dimensión de 4x9 m y la mitad de cada una recibió 25 kg N ha⁻¹ aplicado en forma foliar en

antesis (Z60, Zadoks *et al.*, 1974). El producto utilizado fue una formulación líquida con 20% de N (Foliar U) diluido al 50% y pulverizado con mochila manual.

Muestreo de suelo

A la siembra del cultivo se realizaron muestreos de suelo para caracterizar cada sitio, donde se determinó el contenido de materia orgánica (MO), estimada a partir del método de combustión seca (1500 °C, con analizador automático LECO C Analyser, Rosell *et al.*, 2001), fósforo extraíble (Pe) (Bray & Kurtz, 1945), pH (relación suelo: agua de 1:2,5); N como nitrato (N-NO₃⁻) (Mulvaney, 1996) y humedad gravimétrica en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm). Para el cálculo del N-NO₃⁻ en kg ha⁻¹ se utilizó el valor de la densidad aparente (DA) (Blake & Hartge, 1986) obtenida en cada sitio (Tabla 2).

Tabla 2.
Propiedades edáficas de los suelos de los
sitios experimentales.

Table 2.
Soil properties of the experimental sites.

MO, materia orgánica (g kg⁻¹); N disponible,
N en forma de nitratos a la siembra del cultivo (kg ha⁻¹);
Pe, fósforo extraíble (mg kg⁻¹); pH, potencial Hidrógeno;
DA, densidad aparente (Mg m⁻³).

Sitios	MO g kg ⁻¹	N disponible kg ha ⁻¹	Pe mg kg ⁻¹	pH	DA Mg m ⁻³
1	33	97	17	7,0	1,25
2	25	94	7	7,6	1,32
3	37	60	28	6,4	1,30
4	25	35	20	7,0	1,15
5	23	34	15	6,7	1,18
6	28	135	22	6,2	1,25
7	22	45	19	6,2	1,27
8	58	107	10	6,3	1,13
9	24	83	26	6,0	1,31

Muestreos de planta

En encañazón (Z40) se realizó un corte de biomasa aérea, el material se secó en estufa de aire forzado y se pesó para calcular la materia seca total aérea en ese período (MS antesis). A partir del año 2010 y previo a la fertilización foliar se midió el índice de verdor (IV) de las hojas con el medidor de clorofila Minolta SPAD 502, para evaluar el estado nutricional del cultivo. Cada valor de IV resultó del promedio de 10 lecturas sobre la hoja bandera (punto medio entre la base y el extremo de la lámina) de plantas tomadas al azar. La intensidad de color verde de las hojas se relaciona con la concentración de clorofila y el N en la hoja (Fox *et al.*, 1994). A los fines de interpretar los valores nutricionales, se recurrió a una escala elaborada sobre la base de mediciones e informes previos (Loewy & Ron, 2008).

En madurez fisiológica (Z90) sobre 3 m lineales se evaluó la producción de grano y paja. Además se determinó el contenido de proteína en grano. El material vegetal se secó hasta peso constante a 60 °C (con excepción de los granos, expresados con un 12% de humedad), se pesó y molió con molino Wiley (0,4 mm). Sobre el mismo se determinó N total por el método semimicro Kjeldahl (Bremner, 1996) y a partir de estos datos se transformó a g kg^{-1} de proteína utilizando el factor 5,75 (Rhee, 2001).

Análisis Estadístico

El efecto de los tratamientos de fertilización inicial con N y N foliar complementario, así como la interacción entre ambos, se evaluaron mediante ANOVA. Cuando existieron diferencias entre tratamientos, se calculó la diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de probabilidad de $p < 0,05$.

Para evaluar la relación existente entre los parámetros de rendimiento y de calidad de los granos y las variables involucradas en el análisis, se realizó el análisis estadístico multivariado de análisis de componentes principales. En este análisis se utilizó el rendimiento en grano y la proteína como variables de clasificación. Las variables asociadas se agruparon en variables climáticas: lluvia del mes de Septiembre (Ll. Sep.), lluvia de Octubre (Ll. Oct.), lluvia de Noviembre (Ll. Nov.), agua a la siembra (Ag. Sbra) y agua disponible (mm de agua a la siembra más mm de agua total en el ciclo del trigo menos mm agua remanente a la cosecha); variables de fertilización: fertilización foliar, fertilización con S; variables de manejo de suelo: N disponible (N Disp., N-NO_3^- a la siembra más dosis de N inicial) y variables del cultivo: MS en antesis (MS Ant., previo a la fertilización foliar).

Debido a la importancia del agua disponible en esta zona que correlaciona significativamente con el rendimiento en grano ($r = 0,70^{**}$), los datos obtenidos experimentalmente de producción y proteína se agruparon en rangos de agua disponible, mediante árboles de clasificación, los cuales determinaron las siguientes categorías:

Año muy seco (AMS): < 229 mm de agua disponible; Año semi seco (ASS): 230-341 mm; Año semi húmedo (ASH): 342-452 mm y Año muy húmedo (AMH): > 453 mm.

Los árboles de regresión múltiple permiten conocer el efecto no aditivo de las precipitaciones sobre el rendimiento y nivel de proteína del grano. Esta herramienta multivariada analiza todas las variables regresoras y selecciona, para realizar la partición en diferentes umbrales, las que permiten conformar grupos más homogéneos dentro y más heterogéneos entre ellos. Los umbrales obtenidos demostraron paridad con respecto a las correlaciones de Pearson (Balzarini *et al.*, 2008). Además este análisis resulta robusto ante la presencia de outliers, colinealidad, heterocedasticidad o problemas de distribución de los datos (Yohannes & Hodinott, 1999).

Dado que las variables dependientes son variables continuas, se utilizó la Suma de Cuadrados como medida de heterogeneidad dentro de cada nodo.

A partir de las variables seleccionadas por el ACP, se aplicó el análisis de la regresión múltiple, utilizando el método de selección Stepwise con p-valor de entrada y de retención de 0,05, para determinar la mejor combinación de variables que explican el rendimiento en grano y la proteína, y la respuesta a la fertilización con N.

Todos los análisis se realizaron utilizando el software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ensayos con trigo se realizaron en lotes con más de diez años bajo siembra directa. El contenido de MO varió entre 22 y 58 mg kg^{-1} mientras que el N disponible presentó valores generalmente altos, con un rango entre 34 y 135 kg ha^{-1} (Tabla 2). Esta variación entre sitios podría atribuirse principalmente a las características del suelo y a las diferentes prácticas de manejo. El nivel de Pe fue generalmente adecuado, a excepción del Sitio 2, cuyo pH del suelo fue elevado, lo que puede explicar la baja disponibilidad de Pe (Zalba & Galantini, 2007). El pH de los suelos presentó valores neutros a levemente ácidos, típicos de la región semiárida pampeana.

La determinación de IV antes de la fertilización foliar mostró de acuerdo a la escala antes mencionada, que todos los tratamientos se ubicaron dentro del estado nutricional de N como bien provisto a alto (IV entre 46-50). Sólo los tratamientos con alta dosis de N combinado con el agregado de S mostraron valores de IV superiores a 50, con un estado nutricional muy alto de N.

Altos contenidos de N-NO_3^- a la siembra coincidente con la escasez de lluvias durante la estación de crecimiento del año anterior, resultó en bajos rendimientos y falta de respuesta a la fertilización nitrogenada.

Se ha visto en la misma región semiárida, que el aumento en la disponibilidad de N estimula la producción temprana de materia seca aumentando los requerimientos de agua. La mayor demanda de agua generada puede acentuar el efecto adverso de los déficits hídricos que se producen durante el llenado del grano (Galantini *et al.*, 2014). En este estudio se vio que la escasez de precipitaciones y la mala distribución de las mismas, en la mayoría de las estaciones de crecimiento, limitó el rendimiento del trigo y la respuesta al N foliar.

El análisis estadístico mostró que, tanto la fertilización inicial como la foliar ($p=0,2938$ y $p=0,4768$, respectivamente), no mostraron diferencias significativas del rendimiento en grano entre tratamientos. La interacción entre estas variables fue también no significativa. Debido a la falta de interacción entre tratamientos, sería posible analizar en conjunto los datos de los ensayos estudiados.

En la Tabla 3 se muestra el rendimiento del trigo y la proteína del grano para los diferentes tratamientos de fertilización con N y la dosis de máxima respuesta (DMR) al N foliar en los sitios experimentales.

Tabla 3. Rendimiento del trigo y contenido de proteína del grano en tratamientos con y sin N foliar, en los diferentes sitios experimentales. DMR; Dosis de N inicial para la máxima respuesta al foliar.

Table 3. Wheat yield and grain protein concentration for treatments with and without foliar N, in experimental sites. DMR; initial rate of N for the maximum foliar response.

Año	Establecimiento	DMR	Rendimiento en grano		Proteína	
			Sin N foliar	Con N foliar	Sin N foliar	Con N foliar
			kg ha ⁻¹		g kg ⁻¹	
2004	Cumelén	100 N	3622	4895*	94	103
2008	Los Charos 1	25 N	2259	2508	155	152
	Los Charos 2	100 N	2106	2756	174	174
	Las Ruinas 1	25 N	1408	1330	215	169*
	Las Ruinas 2	50 N	1331	1332	227	243
	Las Ruinas 3	50 N+S	1062	1275	264	208
2010	HFK 1	50 N	1898	2946	112	141
	HFK 2	25 N	2061	2377	109	161*
	HFK 3	50 N+S	2760	3343	101	109
	HFK 4	25 N	2971	3872	122	153*
	Las Ruinas 1	50 N	2289	2716	119	151*
	Las Ruinas 2	25 N	2067	2182	97	130
	Las Ruinas 3	25 N	2028	2491	116	128
	Las Ruinas 4	50 N+S	2166	2643	137	121
2011	El Martillo 1	25 N	3194	3638	99	113
	El Martillo 2	25 N+S	3222	3822	100	108
	El Martillo 3	50 N	3372	3743	102	118
	El Martillo 4	100 N+S	3339	3813*	112	125*
	Cumelén 1	25 N	1128	1514	160	171
	Cumelén 2	50 N	1180	1366	185	173
	Cumelén 3	100 N+S	1199	1465	199	154*
	Cumelén 4	25 N	3133	3320	145	183*
	Cumelén 5	100 N	2089	2303	163	194*
	2012	Cumelén 1	50 N	2154	2305	130
Cumelén 2		25 N+S	2139	2533	124	132
Cumelén 3		50 N+S	1851	2172	131	139
Cumelén 4		100 N+S	2172	2454	129	141
Las Lomas 1		50 N	3499	3956	114	126
Las Lomas 2		25 N+S	3587	4052	103	120
Las Lomas 3		100 N+S	3582	4083	121	127

*estadísticamente significativo (Test T) $p < 0,05$.

Sobre el total de los 30 ensayos, el tratamiento de N a la siembra que produjo la máxima respuesta al N foliar (DMR), varió entre 0 y 100 kg N ha⁻¹, tanto con N sólo como combinado con S. El promedio de los tratamientos testigo (sin N inicial ni N foliar) fue de 2087, 1784, 1895, 2195 y 2625 kg ha⁻¹ para los años 2004, 2008, 2010, 2011 y 2012 respectivamente, mientras que el promedio de la respuesta a la aplicación de N foliar fue de 1273, 145, 541, 347 y 367 kg ha⁻¹, para los mismos años, pero como se explicó anteriormente estas diferencias no fueron significativas estadísticamente. En términos generales, el promedio de agua disponible para el cultivo (Junio-Diciembre) fue mayor en 2004 y 2012 (433 y 377 mm, respectivamente) en comparación con el resto (entre 254 y 332 mm). Esto podría explicar parcialmente las variaciones de producción observadas entre los años.

La deficiencia de agua en antesis, habitual en la región semiárida y subhúmeda, fue crítica para la producción del trigo, causando significativas pérdidas del rendimiento y sería responsable en parte, de la variabilidad encontrada en los rendimientos de los años 2004 a 2012. Estos resultados estuvieron de acuerdo a los encontrados por Arango *et al.* (1990) quienes concluyeron que la aplicación de N a partir de espigazón, no sería una técnica adecuada para lograr aumentos de rendimiento ya que no se modificaría el ritmo ni la duración del período de llenado del grano. Contrastando con estos estudios, otros autores (Díaz Zorita *et al.*, 2001), trabajando en la región semiárida pampeana encontraron que la fertilización con N a la siembra y la fertilización foliar en estado vegetativo, incrementaron el número de espigas como el número de granos por espiga.

Para el análisis de la calidad del grano, la interacción entre el N inicial y el foliar complementario no mostró diferencias estadísticamente significativas, indicando que los datos experimentales se comportaron de la misma forma en los años estudiados. El agregado de N como urea a la siembra, mostró diferencias estadísticamente significativas ($p=0,0356$) entre los tratamientos testigo y 25 kg N ha⁻¹, respecto a las mayores dosis, con un DMS de 14,08 g kg⁻¹ de proteína en el grano. La aplicación de N foliar en antesis aumentó significativamente ($p<0,01$) la proteína (g kg⁻¹) del grano en 25 de los 30 ensayos (84%). El DMS fue de 8,9 g kg⁻¹, en consecuencia el contenido de proteína, que en promedio para todos los ensayos fue de 132 g kg⁻¹, se incrementó un 11% cuando se fertilizó en antesis.

Estos resultados positivos de la aplicación complementaria de N en la proteína del grano, coincidieron con lo

encontrado por numerosos autores corroborando la eficacia de estas prácticas como recurso apropiado para mejorar el nivel de N de los granos (Bly & Woodward, 2003). En este caso, con trigos de invierno y primavera, estos autores encontraron incrementos en los valores de proteína en un 70% de los casos a diferencia del 23% encontrado para incrementos del rendimiento. El grado de eficacia de la aplicación foliar dependerá de las características climáticas del año en estudio. Incrementos en la concentración de proteínas del grano con la aplicación de N foliar ocurrieron frecuentemente aún cuando los suelos estén provistos de una adecuada disponibilidad de N mediante una correcta planificación. Un incremento, aunque de magnitud reducida, podría prevenir deducciones en los precios del cereal y resultar en bonificaciones hacia los productores en años climáticamente favorables.

Análisis de los Componentes Principales

El estudio estadístico de ANOVA mostró gran variabilidad en los resultados producto de la influencia de factores determinantes de la producción, tales como la falta de precipitaciones adecuadas en el período de llenado de grano. Teniendo en cuenta esta problemática, y para conocer cuáles variables tendrían mayor influencia sobre el rendimiento, la proteína del grano y la respuesta a la fertilización, se analizó el ACP utilizando las variables medidas en los sitios experimentales durante los años 2004 a 2012.

El ACP permitió cuantificar el efecto de las variables sobre el rendimiento y la calidad del grano de trigo en los 30 ensayos experimentales.

Para el análisis del rendimiento del grano se obtuvieron 2 componentes (CP1 y CP2) que juntos explicaron una varianza acumulada de 58% (Fig. 2). Se conservaron las dos primeras componentes cuyos autovalores fueron > 1 (Tabla 4), los cuales ejercen una mayor influencia sobre la explicación de la variabilidad (Sharma, 1996). Cada variable está representada por un autovector que queda definido por la correlación que existe entre ésta y la CP considerada (Tabla 5). El ángulo existente entre los vectores representa el grado de correlación entre las variables medidas.

Las variables con mayor participación en la definición de la componente CP1 fueron: lluvia de Noviembre, lluvia de Septiembre, materia seca acumulada en antesis y N disponible. La CP2 quedó definida por las variables lluvia de Octubre, agua a la siembra, lluvia de Septiembre, proteína

y N disponible. Las mismas presentaron un alto coeficiente de correlación y probabilidad, por cuanto fueron seleccionadas para explicar el rendimiento en grano (Tabla 6).

La correlación negativa observada entre el rendimiento de grano y la lluvia de Septiembre, podría deberse al aumento de la biomasa aérea en la etapa vegetativa que luego con lluvias deficientes no llegaron a producir aumentos en el rendimiento (McDonald, 1992). La correlación negativa con la proteína es un comportamiento bien conocido en los trigos de la región y mencionado por otros autores como "efecto dilución - concentración" (Fagioli & Bono, 1982; Loewy, 1990; López-Bellido *et al.*, 2000; Garrido-Lestache *et al.*, 2004).

Tabla 4. Descomposición de la variabilidad por componente principal (CP) para las variables asociadas al rendimiento de trigo según rangos de agua disponible.

Table 4. Variability decomposition of principal components (CP) for variables associated with wheat yield in terms of water availability.

Componentes	Autovalor	Proporción	Proporción acumulada
CP 1	2,70	0,30	0,30
CP 2	2,50	0,28	0,58

Tabla 5. Autovectores de las variables analizadas para las dos primeras componentes principales (CP1 y CP2) en el análisis del rendimiento del grano.

Table 5. Autovectors of the analyzed variables for the first two principal components (CP1 and CP2) in the grain yield analysis.

VARIABLES	CP1	CP2
Agua Sbra	0,28	0,46
Lluvia Sept.	-0,45	0,34
Lluvia Oct.	-0,01	0,58
Lluvia Nov.	0,55	0,06
MS Antésis	0,43	0,08
N Foliar	0,01	-0,12
Dosis fert. S	0,15	-0,14
Proteína	-0,31	-0,38
N Disp.	0,34	-0,38

Tabla 6. Coeficientes de correlación y nivel de significancia (probabilidad) entre las variables medidas y las componentes principales para el rendimiento del grano.

Table 6. Correlation coefficients and significance level (probability) between the measured variables and principal components for grain yield.

	Ll. Sept.	Ll. Oct.	Ll. Nov.	MS Ant.	N Disp.	Ag.Sbra	Proteína
CP 1	- 0,77	0,08	0,90	0,69	0,60	0,41	-0,48
Probabilidad	<0,0001	0,2435	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CP 2	0,50	0,92	0,14	0,16	-0,57	0,76	-0,62
Probabilidad	<0,0001	<0,0001	0,0351	0,0173	<0,0001	<0,0001	<0,0001

En la Figura 2 el gráfico Bi-plot representó gráficamente las variables medidas en un mismo plano, observándose 4 agrupamientos del rendimiento en función del volumen de agua disponible durante todo el ciclo del trigo. La mayor cantidad de puntos se concentraron dentro del rango ASS (agua disponible entre 230-341 mm) con una gran dispersión de los mismos. En años con esta acumulación de agua en el ciclo del cultivo, los rendimientos estarían más asociados a la lluvia del mes de Septiembre, al N disponible en el suelo y en mucha menor medida por el N foliar y aplicación de algún otro nutriente complementario como el caso del S. A medida que aumentó la disponibilidad hídrica, la cantidad de puntos fue menor (menores sitios), pero con menor dispersión en el plano. En estos casos las lluvias de Octubre y Noviembre, ubicadas dentro del período reproductivo del trigo, explicarían adecuadamente el rendimiento del grano.

Para el análisis de la proteína del grano, el ACP mostró nuevamente 2 componentes (CP1 y CP2) los cuales en conjunto explicaron una varianza acumulada de 66% (Fig. 3). Las variables con mayor participación en la construcción de la primera componente (CP1) fueron: lluvia de Noviembre, lluvia de Septiembre, materia seca en antesis, rendimiento del grano y agua a la siembra. La CP2 quedó definida por variables como lluvia de Octubre, lluvia de Septiembre y N disponible (Tablas 7 y 8). Las mismas presentaron un alto coeficiente de correlación y probabilidad, por cuanto fueron seleccionadas para explicar la proteína del grano (Tabla 9).

En la Figura 3 el gráfico Bi-plot representó gráficamente las variables medidas en un mismo plano, y de la misma forma que para el caso del rendimiento, se determinaron 4 grupos de la variable proteína en función del volumen de agua disponible durante el ciclo del trigo. La tendencia de distribución de los puntos fue similar a la anterior. La mayor cantidad se concentró dentro del rango ASS y la

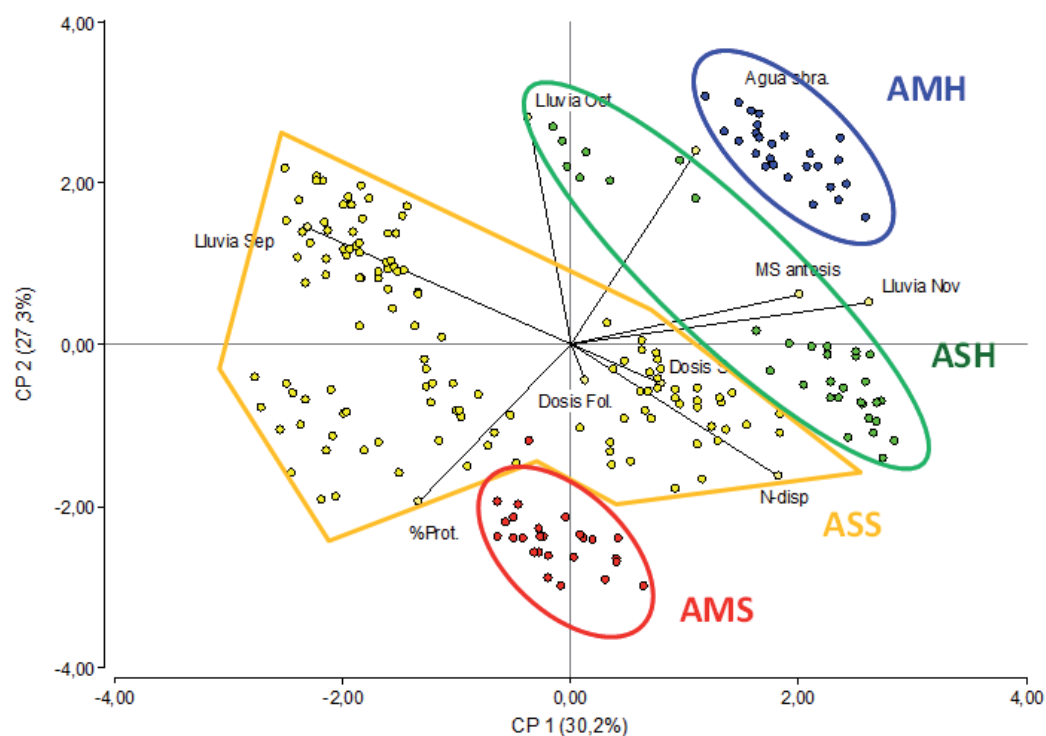


Figura 2. Gráfico Bi plot correspondiente al análisis de componentes principales (ACP). Círculos que contienen los rangos de rendimiento de grano según el agua disponible, sobre el plano principal producido por las componentes 1 y 2.

AMS: Años muy secos; ASS: Años semi secos; ASH: Años semi húmedos; AMH: Años muy húmedos.

Figure 2. Biplot graph of the principal component analysis (ACP). Circles surrounding grain yield ranges in terms of water availability on the main plane produced by components 1 and 2.

AMS: Very dry years; ASS: Semi-dry years; ASH: Semi wet years; AMH: Very wet years.

calidad del grano estuvo asociada nuevamente a la lluvia del mes de Septiembre, al N disponible en el suelo y en mucha menor medida por el N foliar y el S. En el extremo derecho del gráfico, los datos de los sitios AMH, con mejor disponibilidad de agua, mostraron que la calidad del grano estuvo más asociada a la disponibilidad hídrica a la siembra y por el rendimiento del cultivo.

Tabla 7. Descomposición de la variabilidad por componente principal (CP) para las variables asociadas a la proteína del trigo según rangos de agua disponible del suelo.

Table 7. Variability decomposition of principal components (CP) for variables associated with wheat protein in terms of soil water availability.

Componentes	Autovalor	Proporción	Proporción acumulada
CP 1	4,01	0,40	0,40
CP 2	2,56	0,26	0,66

Tabla 8. Autovectores de las variables analizadas para las dos primeras componentes principales (CP1 y CP2) en el análisis de la proteína del grano.

Table 8. Autovectors of the analyzed variables for the two first principal components (CP1 and CP2) in the grain protein analysis.

Variables	CP1	CP2
MS Antesis	0,43	-0,08
Lluvia Sept.	-0,19	0,53
Lluvia Oct.	0,30	0,48
Lluvia Nov.	0,44	-0,23
N Foliar	0,02	-0,15
Dosis fert. S	0,06	-0,22
N Disp.	0,13	-0,52
Agua Sbra	0,47	0,27
Rendim. grano	0,51	0,09

Tabla 9. Coeficientes de correlación y nivel de significancia (probabilidad) entre las variables medidas y las componentes principales para proteína del grano.

Table 9. Correlation coefficients and significance level (probability) between the measured variables and the principal components for grain protein.

	Ag.Sbra	Ll. Nov.	MS Ant.	R. grano	N Disp.	Ll. Oct.	Ll.Sept.
CP 1	0,41	0,90	0,69	0,62	0,60	-0,08	0,77
Prob.	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,2435	<0,0001
CP 2	-0,76	0,14	0,16	0,51	-0,57	0,92	0,50
Prob.	<0,0001	0,0351	0,0173	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

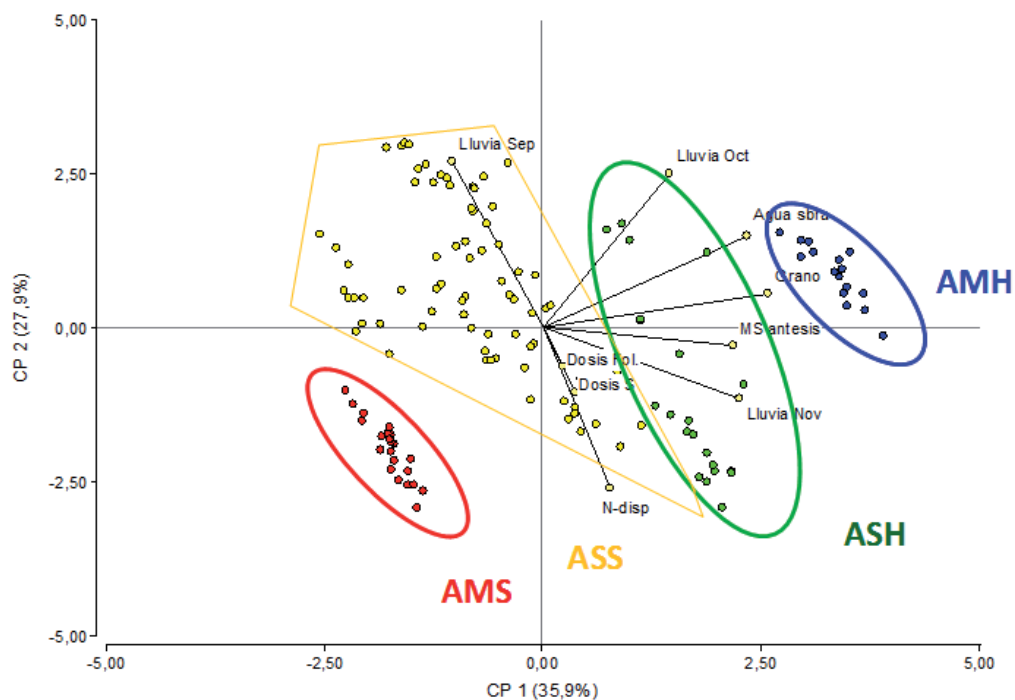


Figura 3. Gráfico Bi-plot correspondiente al ACP. Círculos que contienen los rangos de proteína del grano según el agua disponible, sobre el plano principal producido por las componentes 1 y 2.

AMS: Años muy secos; ASS: Años semi secos; ASH: Años semi húmedos; AMH: Años muy húmedos.

Figure 3. Biplot graph of the principal component analysis (ACP). Circles surrounding protein grain ranges in terms of water availability on the main plane produced by the components 1 and 2.

AMS: Very dry years; ASS: Semi dry years; ASH: Semi wet years; AMH: Very wet years.

A partir de los CP1 y CP2 obtenidos por ACP, y de las variables seleccionadas en cada caso, se realizó el análisis de regresión múltiple mediante el modelo Stepwise, para rendimiento y proteína del grano como variables dependientes. En cada caso el modelo seleccionó las variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$). La predicción del rendimiento de grano fue elevada con un $R^2 = 0,71$ (Ecuación 1)

Todas estas variables se relacionaron con la disponibilidad de agua y de N como los principales factores influyentes del rendimiento en zonas con problemas de déficit hídricos como las mencionadas en este estudio (Galantini *et al.*, 2004) (Tabla 10).

La ecuación predictiva se resumió de la siguiente forma:

$$\text{Rend. Gr.} = -3148,2 + 26,6 * \text{Ag. Sbra} + 11,9 * \text{Ll. Nov.} + 26,9 * \text{Ll. Sept.} - 15,9 * \text{Ll. Oct.} + 2,24 * \text{N Disp.}$$

(Ec. 1)

Ag. Sbra: mm; Ll. Nov., Sept. y Oct.: mm; N Disp.: kg ha⁻¹

En el análisis de la regresión múltiple para proteína, el modelo nuevamente seleccionó las variables hídricas (llovía Octubre y Noviembre), N disponible y agregó la variable aplicación de N foliar (Ecuación 2). Esta última influyó positivamente en el aumento de la proteína respecto al control con 15,9% (Tabla 11).

La ecuación de predicción se confeccionó de la siguiente forma:

$$\text{Proteína} = 15,9 - 0,05 * \text{Ll. Nov.} + 0,02 * \text{N Disp.} - 0,02 * \text{Ll. Oct.} + 2,0E-04 * \text{MS Ant.} + 0,66 * \text{N Foliar}$$

(Ec. 2)

MS Ant.: kg ha⁻¹; N Foliar: kg ha⁻¹

Usando la información de las ecuaciones 1 y 2, se estimó el rendimiento y la proteína para el trigo. El rendimiento del grano fue posible estimarlo con un 72% de confiabilidad respecto a los datos obtenidos experimentalmente (Fig. 4), mientras que la proteína se estimó con un 59% (Fig. 5). La regresión lineal entre los datos de rendimiento de grano estimados y observados presentó el intercepto que no difirió estadísticamente del 0 y pendiente no diferente a 1 ($p < 0,05$). Los valores se ubicaron homogéneamente a lo largo de la recta 1:1 indicando que el modelo se ajustó razonablemente bien (Fig. 4).

De igual forma en la Figura 5 se observó que los valores de proteína también presentaron una distribución semejante con moderado ajuste del modelo.

Tabla 10. Predicción del rendimiento de grano por regresiones múltiples

Table 10. Grain yield prediction with multiple regressions.

Variable dependiente	<i>n</i>	VARIABLES regresoras	Parámetro estimado	Error estándar	p-value	R ²	R ² ajust.
grano	216	constante	-3148,2	385,24	<0,0001	0,72	0,71
		Ll. Nov.	11,93	1,07	<0,0001		
		Ag Sbra.	26,6	2,16	<0,0001		
		Ll. Sep.	26,93	3,87	<0,0001		
		Ll. Oct.	-15,92	2,73	<0,0001		
		N Disp.	2,24	0,84	0,0085		

Tabla 11. Predicción del contenido de proteína con regresiones múltiples.

Table 11. Grain protein prediction with multiple regression.

Variable dependiente	<i>n</i>	VARIABLES regresoras	Parámetro estimado	Error estándar	p-value	R ²	R ² ajust.
Proteína	216	constante	158,82	0,68	<0,0001	0,61	0,60
		Ll. Nov.	-0,05	4,0E-03	<0,0001		
		N Disp.	0,02	3,6E-03	<0,0001		
		Ll. Oct.	-0,02	0,01	<0,0001		
		MS Ant.	2,0E-04	7,7E-05	<0,0112		
		Foliar	0,66	0,30	0,0309		

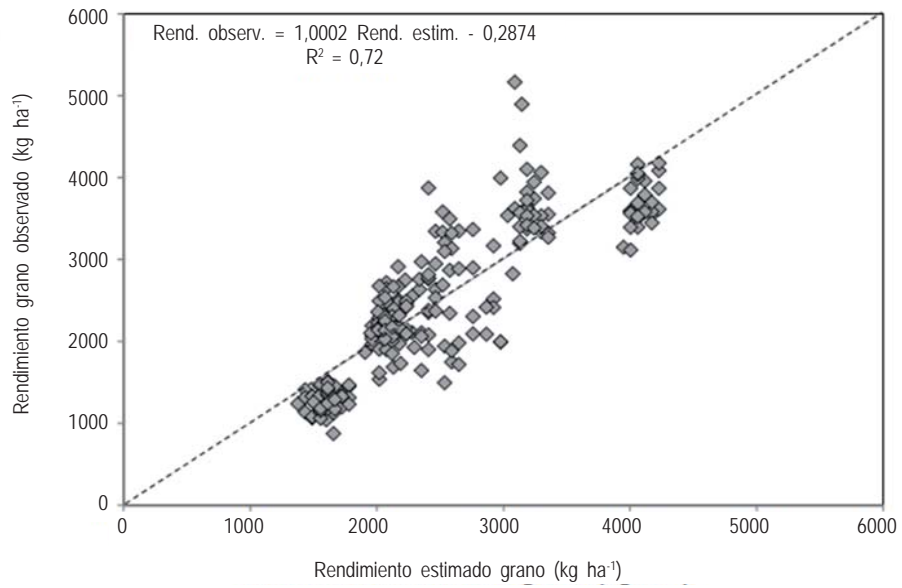


Figura 4. Resultados de la regresión lineal simple entre valores de rendimiento observado y estimado obtenida a partir de la Ecuación 1.
Figure 4. Results of simple linear regression between observed grain yield and the estimated value obtained with Equation 1.

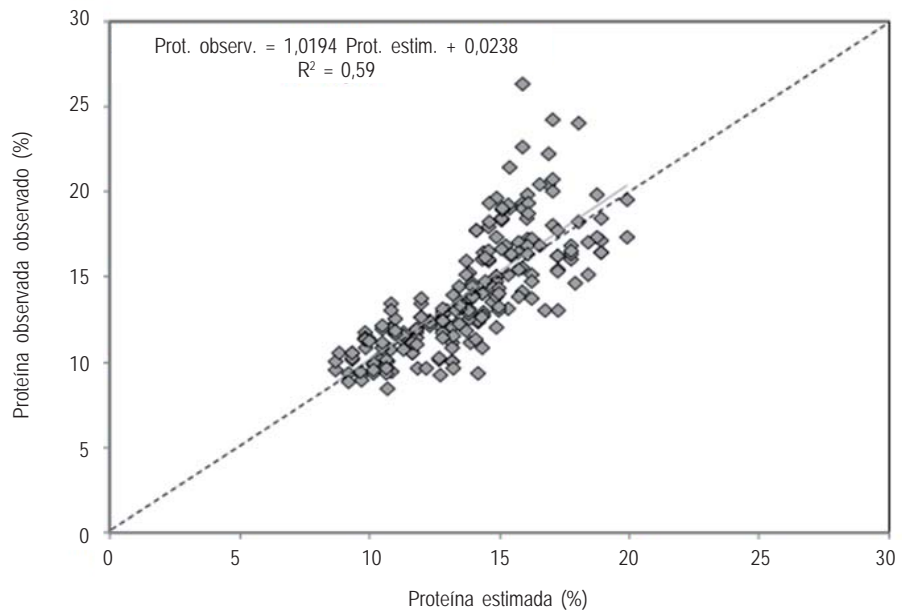


Figura 5. Resultados de la regresión lineal simple entre valores de proteína observada y estimada obtenida a partir de la Ecuación 2.
Figure 5. Results of simple linear regression between observed grain protein and the estimated value obtained with Equation 2.

CONCLUSIONES

La variabilidad edafoclimática de la zona de estudio hizo que la respuesta del trigo a la fertilización inicial fuera errática. Por este motivo la aplicación foliar debería ser específica de cada situación de cultivo y considerarse como una estrategia complementaria según el estado nutricional del cultivo y la disponibilidad de agua al final del ciclo.

En ambientes como los del estudio, la aplicación de N foliar resultó una práctica útil sólo para el aumento de proteína.

Factores importantes como las precipitaciones de Septiembre a Noviembre, junto al N y al agua disponible en el ciclo, mejoran los modelos de aplicación complementaria de N a través de las hojas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las empresas Profertil Nutrientes y Bunge por el aporte de fertilizantes; a los productores de la Regional Bahía Blanca de AAPRESID, por ceder sus establecimientos para la realización de los ensayos y a los alumnos del Dpto. de Agronomía de la UNS por la colaboración con las tareas de campo y de laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- Arango, MC; MC Gianibelli & SJ Sarandón. 1990. Fertilización foliar en trigo: efecto de las aplicaciones de N, en espigazón y antesis sobre el contenido de proteínas del grano. *Rev. Fac. Agron. La Plata* 66/67: 31-35.
- Balzarini, MG; L González; M Tablada; F Casanoves; JA Di Rienzo & CW Robledo. 2008. Infostat. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Bergh, R; M Zamora; ML Seghezze & E Molfese. 2003. Fertilización Nitrogenada Foliar en Trigo en el Centro-sur de la Provincia de Buenos Aires. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur-IPNI* 19: 15-21.
- Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk density. In: A Klute (ed). *Methods of Soil Analysis*. Part 1. 2nd ed. Pp. 363-375. ASA, Madison, Wisconsin, USA.
- Bly, A & H Woodward. 2003. Foliar nitrogen application timing influence on grain yield and protein concentration of hard red winter and spring wheat. *Agron. J.* 95: 335-338.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Bredja, JJ; TB Moorman; DL Karlen & TH Dao. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and southern high plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2115-2124.
- Bremner, JM. 1996. Nitrogen Total. In: DL Sparks (ed). *Methods of Soil Analysis*. Chemical Methods. Part 3. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin, USA. Pp. 1085-1123.
- Díaz Zorita, M; V Fernández Canigia & GA Grosso. 2001. Applications of foliar fertilizers containing glycinebetaine improve wheat yields. *J. Agron. Crop Sci.* 186: 209-215.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L González; M Tablada & CW Robledo. 2013. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Fageria, NK; MP Barbosa Filho; A Moreira & CM Guimarães. 2009. Foliar fertilization of crop plants. *J. Plant Nutr.* 32: 1044-1064.
- Fagioli, M & A Bono. 1982. Contenido proteico del grano de trigo. *Publ. Tec. N° 22*. EEA Anguil, INTA.
- Fernández, V; T Sotiropoulos & P Brown. 2013. Fertilización Foliar: Principios Científicos y Experiencias de Campo. In: International Fertilizer Industry Association (ed) pp 81-88.
- Fox, RH; WP Piekielek & KM Macneal. 1994. Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 25: 171-181.
- Galantini, JA; R Fernández; G Minoldo; MR Landriscini; R Kiessling & R Rosell. 2004. Fertilización del trigo con N y S en suelos bajo siembra directa del S y SO Bonaerense. *Actas VI Congr. Nac. de Trigo. UNS-INTA (ed)*. Pp. 141. Bahía Blanca, Argentina.
- Galantini, JA; MR Landriscini & JO Iglesias. 2014. Efectos de largo plazo de la siembra directa en el SO Bonaerense: respuesta a la aplicación de N y su eficiencia de uso. Pp. 15-22. *En: JA Galantini (ed)*. Ciencia y experiencia para una siembra directa sustentable en los ambientes frágiles del S y SO Bonaerense. *Rev. Técnica AAPRESID*. 96 pp.
- Garrido-Lestache, E; RJ López-Bellido & L López-Bellido. 2004. Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Res.* 85: 213-236.
- Gooding, MJ; PS Kettlewell & TJ Hocking. 1991. Effects of urea alone or with fungicide on the yield and breadmaking quality of wheat when sprayed at flag leaf and ear emergence. *J. Agr. Sci. Camb.* 117: 149-155.
- Gooding, MJ & WP Davies. 1992. Foliar urea fertilization of cereals: a review. *Fertilizer Res.* 32: 209-222.
- Landriscini, MR; JA Galantini & JM Martínez. 2014. Estrategias de fertilización con nitrógeno en trigo en la región pampeana. Pp 39-45. *En: JA Galantini (ed)*. Ciencia y experiencia para una siembra directa sustentable en los ambientes frágiles del S y SO Bonaerense. *Rev. Técnica AAPRESID*. 96 pp.
- Laurent, G; MA Lázzari & R Victoria. 1996. Balance del nitrógeno del fertilizante aplicado al trigo en dos épocas diferentes. *Ci. Suelo* 14: 7-11.
- Loewy, T. 1990. Fertilización nitrogenada del trigo en el sudoeste bonaerense. II. Respuesta en la calidad del grano. *Ci. Suelo* 8: 57-65.
- Loewy, T. & MM Ron. 2008. Fertilización nitro-azufrada, expresión del índice de verdor y rendimiento del nitrógeno en trigo. VII Congreso Nacional de Trigo. Santa Rosa, Argentina.
- López-Bellido, L; V Muñoz-Romero; J Benítez-Vega; P Fernández-García; R Redondo & RJ López-Bellido. 2012. Wheat response to nitrogen splitting applied to a Vertisol in different tillage systems and cropping rotations under typical Mediterranean climatic conditions. *Eur. J. Agron.* 43: 24-32.
- López-Bellido, L; RJ López-Bellido; JE Castillo & FJ López-Bellido. 2000. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Agron. J.* 92: 1054-1063.
- McDonald, GK. 1992. Effects of nitrogenous fertilizer on the growth, grain yield and grain protein concentration of wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 43: 949-967.

- Moss, HJ; CW Wrigley; F Mac Ritchie & PJ Randall. 1981. Sulfur and nitrogen fertilizer effects on wheat. II. Influence on grain quality. *Aust. J. Agric. Res.* 32: 213-216.
- Mulvaney, RL. 1996. Nitrogen Inorganic Forms. *In: DL Sparks (ed). Methods of Soil Analysis. Chemical Methods. Part 3.* Pp. 1123-1184. ASA. Madison, Wisconsin, EEUU.
- Recous, S & JM Machet. 1999. Short-term immobilization and crop uptake of fertilizer nitrogen applied to winter wheat: effect of date of application in spring. *Plant Soil* 206: 137-149.
- Rhee, KC. 2001. Determination of total nitrogen. *In: R Wrolstad (ed). Current protocols in food analytical chemistry.* Wiley & Sons. New York, EEUU.
- Reussi Calvo, NI & HE Echeverría. 2006. Estrategias de fertilización nitrogenada en trigo: balance hídrico para el sur bonaerense. *Ci. Suelo* 24: 115-122.
- Rosell, RA, JC Gasparoni & JA Galantini. 2001. Soil organic matter evaluation. *In: R Lal, et al. (eds) Assessment Methods for Soil Carbon (ed). Serie Advances in Soil Science, Chapter 21,* pp. 311-322.
- Sarandón, S & DO Caldiz. 1990. Effects of varying nitrogen supply at different growth stages on nitrogen uptake and nitrogen partitioning efficiency in two wheat cultivars. *Fert. Res.* 22: 21-27.
- Sarandón, S; M Zuluaga & S Golik. 2000. Rendimiento, acumulación y partición del N en 2 cultivares de trigo según el momento de aplicación y tipo de fertilizante utilizado. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.
- Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy, 11th Ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC, EEUU. 374 pp.
- Satorre, EH & GA Slafer. 1999. Wheat production systems of the Pampas. *In: EH Satorre & GA Slafer (eds). Wheat: Ecology and physiology of yield determination.* Pp. 333-348. Haworth Press, New York, EEUU.
- Sharma, S. 1996. Applied Multivariate Techniques. Editorial John Wiley and Sons, Nueva York, EEUU.
- Slafer, GA; FH Andrade & SE Feingold. 1990. Genetic improvement of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in Argentina: relationships between nitrogen and dry matter. *Euphytica* 50: 63-71.
- Tea, I; T Genter; N Naulet; V Boyer; M Lummerzheim & D Kleiber. 2004. Effect of foliar sulfur and nitrogen fertilization on wheat storage protein composition and dough mixing properties. *Cereal Chem.* 81(6): 759-766.
- Wooding, AR; S Kavale; F MacRitchie; L Stoddard & A Wallace. 2000. Effects of nitrogen and sulfur fertilizer on protein composition, mixing requirements, and dough strength of four wheat cultivars. *Cereal Chem.* 77: 798-807.
- Woolfolk, CW; WR Raun; GV Johnson; WE Thomason; RW Mullen; KJ Wynn & KW Freeman. 2002. Influence of late-season foliar nitrogen applications on yield and grain nitrogen in winter wheat. *Agron. J.* 94: 429-434.
- Yohannes, Y & J Hoddinott. 1999. Classification and regression trees: An introduction. Technical Guide 3. International Food Policy Research Institute. Washington, D.C. EE.UU. 26 pp.
- Zadoks, JC; TT Chang & CF Konzak. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.
- Zalba, P & JA Galantini. 2007. Improved soil tests methods for available phosphorus in acid, neutral and alkaline soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38: 1579-1587.