

CLIMA, RENDIMIENTO Y CONTENIDO PROTEICO DEL GRANO DE TRIGO EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA ARGENTINA

HUGO RICARDO KRÜGER^{1*}; JOSEFINA PAULA ZILIO¹;
FRANCO DANIEL FROLLA¹; ELIÁN ALBERTO TRANIER
PÉREZ¹

Recibido: 30/10/2020

Recibido con revisiones: 21/04/2021

Aceptado: 21/04/2021

RESUMEN

Con el objetivo de establecer niveles de fertilización nitrogenada que compatibilicen incrementos de rendimiento y contenido proteico dentro del estándar de calidad de trigo, se realizaron 18 experimentos en la zona semiárida del sudoeste de la provincia de Buenos Aires entre 2016 y 2019. En macollaje se aplicaron cinco niveles de nitrógeno (N): Testigo (N mineral en la capa 0-0,6 m de suelo, Ns), 100, 120, 140 y 160 kg N ha⁻¹ determinados como Ns + N del fertilizante aplicado como urea al voleo hasta el nivel propuesto. En floración se aplicaron 20 kg N ha⁻¹ en forma foliar en la mitad de cada parcela. En general 100 y 120N fueron suficientes para incrementar los rendimientos, pero sólo lograron el estándar de proteína con fertilidad elevada del suelo o con rendimientos menores a 2000 kg ha⁻¹. En suelos de fertilidad media se requirieron niveles de 140N para obtener rendimientos mayores a 3500 kg ha⁻¹ y cumplir con el estándar. Cuando algún efecto ambiental deprimió la producción de grano se logró el estándar sin fertilización o con menores niveles de N. En promedio sobre los niveles de N al macollaje la fertilización en antesis mostró incrementos del contenido de proteína de 0,8 puntos pero no afectó el rendimiento. A igual aporte de N, el fraccionamiento de la dosis entre macollaje y antesis no afectó el contenido de proteína. Esto permite decidir la última fertilización en función del estado del cultivo, el rendimiento esperado y pronósticos ambientales de menor plazo.

Palabras clave: Producción de trigo, fertilización, calidad comercial, secano.

CLIMATE, YIELD AND WHEAT GRAIN PROTEIN CONTENT IN THE SEMIARID REGION OF ARGENTINA

ABSTRACT

In order to establish nitrogen fertilization levels that promote yield increases and protein content compatible with the wheat quality standard, 18 experiments were carried out in the semi-arid area of the southwest of the Buenos Aires province between 2016 and 2019. At tillering five nitrogen (N) levels were applied: Control (mineral N in the 0-0.6 m soil layer, Ns), 100, 120, 140 and 160 kg N ha⁻¹ determined as Ns + N of the fertilizer applied as broadcast urea up to the proposed level. At anthesis foliar fertilizer (20 kg N ha⁻¹) was applied in half of each plot. N levels of 100 and 120N were enough to increase yields, but they only achieved protein standard with high soil fertility or with yield less than 2000 kg ha⁻¹. In soils of medium fertility, levels of 140N were required to obtain yields greater than

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

* Autor de contacto: kruger.hugo@inta.gob.ar



3,500 kg ha⁻¹ and comply with the standard. When some environmental effect depressed grain production, the standard was achieved without fertilization or with lower N levels. On average over N levels at tillering, fertilization at anthesis showed increases in protein content of 0.8 points but did not affect yield. At equal contribution of N, the division of the dose between tillering and anthesis did not affect grain protein content. This makes it possible to decide the last fertilization based on the state of the crop, the expected yield and shorter-term environmental forecasts.

Keywords: Wheat production, fertilization, commercial quality, dryland.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua y de nitrógeno (N) son consideradas las principales limitantes en el sudoeste bonaerense (Ron & Loewy, 2000; Martínez *et al.*, 2016). En estos ambientes semiáridos, la respuesta de los cultivos a la fertilización nitrogenada está controlada por interacciones suelo-clima-cultivo en las que intervienen parámetros del suelo (contenido de materia orgánica, agua y disponibilidad de N), y la variabilidad temporal y espacial de los factores climáticos, con efectos sobre indicadores de estado del cultivo como biomasa aérea y fenología (Zilio *et al.*, 2020). La precipitación es una de las principales determinantes del rendimiento del trigo y de su variabilidad en suelos de baja capacidad de retención de agua (Verón *et al.*, 2002). Los períodos fenológicos más sensibles al estrés hídrico incluyen elongación del tallo y "booting", seguidos de antesis y llenado del grano (Zhang & Oweis, 1999).

Aunque el objetivo principal de la fertilización es el incremento del rendimiento, la calidad panadera también influye sobre la rentabilidad del cultivo. Las exigencias de calidad y uniformidad son cada vez mayores. Lograrlas en un contexto de altos rendimientos y márgenes económicos ajustados es un desafío (Berger *et al.*, 2014), especial-

mente porque se ha observado, en la Región Pampeana y en la región triguera V Sur, una caída generalizada en los porcentajes de proteína (Salomón *et al.*, 2013; Cuniberti & Mir, 2016). Este parámetro es importante porque afecta las condiciones de molienda y horneado y porque los productores generalmente reciben bonificaciones por altas concentraciones (McKenzie *et al.*, 2006). En Argentina el estándar de comercialización establece bonificaciones del 2% y rebajas entre 2 y 4% en función del contenido de proteína del grano, con una base del 11% (Cámara Arbitral de Cereales, 2020).

En combinación con las características del sitio (fertilidad y condiciones climáticas específicas), el suministro de N afecta el contenido y tipo de proteínas en el grano (Triboi *et al.*, 2000). El efecto del ambiente puede determinar distintos niveles de rendimiento y calidad en un mismo genotipo, pero aun así es posible obtener simultáneamente altos rendimientos y buena calidad en ambientes de baja fertilidad (Vázquez *et al.*, 2012). Para esto resulta importante ajustar las prácticas de manejo al ambiente de producción (Landriscini *et al.*, 2015; Pagnan *et al.*, 2016). Esta estrecha relación entre las condiciones ambientales, la oferta de N y el rendimiento y calidad del



trigo diferencia la estrategia de fertilización en relación con regiones más húmedas del país. Nuestro objetivo fue establecer niveles de fertilización nitrogenada que compatibilicen incrementos de rendimiento y contenidos proteicos dentro del estándar de calidad de trigo, en el marco de las variables condiciones climáticas imperantes en la zona semiárida de la provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre 2016 y 2019 se realizaron 18 experimentos en el sudoeste de la provincia (**figura 1**), en lotes comerciales con diferentes historias culturales y características de suelo (principalmente *Haplustoles* y *Argiustoles*, actualmente clasificados como *Paleustoles petrocálcicos*) (**tabla 1**). Se utilizaron cultivares de trigo pan, grupo de calidad uno, en siembra directa, sobre suelos con más de 0,6 m de profundidad efectiva y bajo el manejo del productor, excepto la fertilización nitrogenada. En cada sitio (S), en post-emergencia se determinaron: En la capa 0-0,12 m: materia orgánica (MO, Walkley & Black, 1934), fósforo extractable (Pe, Bray & Kurtz, 1945), pH (relación suelo-agua 1:2,5) y composición granulométrica (Ashworth et al., 2001). En la capa 0-0,2 m:

N anaeróbico (Nan, Gianello & Bremner, 1986). En la capa 0-0,6 m en post-emergencia y macollaje: N mineral como $N_{\text{nitratos}} + N_{\text{amoniacal}}$ (Ns, Bremner & Keeney, 1966). El $N_{\text{amoniacal}}$ suele representar una muy baja proporción del Ns, aunque en ciertas situaciones (muestreo cercano a una fertilización de base o lavado de nitratos) se ha observado un incremento en relación con el N_{nitratos} . En macollaje se aplicaron cinco niveles de N: Testigo (Ns), 100, 120, 140 y 160 kg N ha⁻¹ determinados como Ns + N del fertilizante (Nf) aplicado como urea al voleo hasta el nivel propuesto. En antesis se aplicaron 20 kg N ha⁻¹, en forma foliar con un fertilizante comercial de urea líquida con bajo biuret, en la mitad de cada parcela. El rendimiento se obtuvo por trilla mecánica de gavillas cortadas a 0,05 m del suelo (0,84 m² por unidad experimental) y el contenido de proteína en grano con un equipo NIRT *Infratec*® 1241 (13,5% de humedad). En 2019, por el escaso volumen de muestra disponible, se unificaron las repeticiones obteniéndose un solo valor por tratamiento. El N exportado en el grano se determinó según la ecuación:

$$\text{kg N exportado ha}^{-1} = \frac{\frac{\text{Proteína (g kg}^{-1}\text{)}}{5,7} \times \text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)}}{100}$$



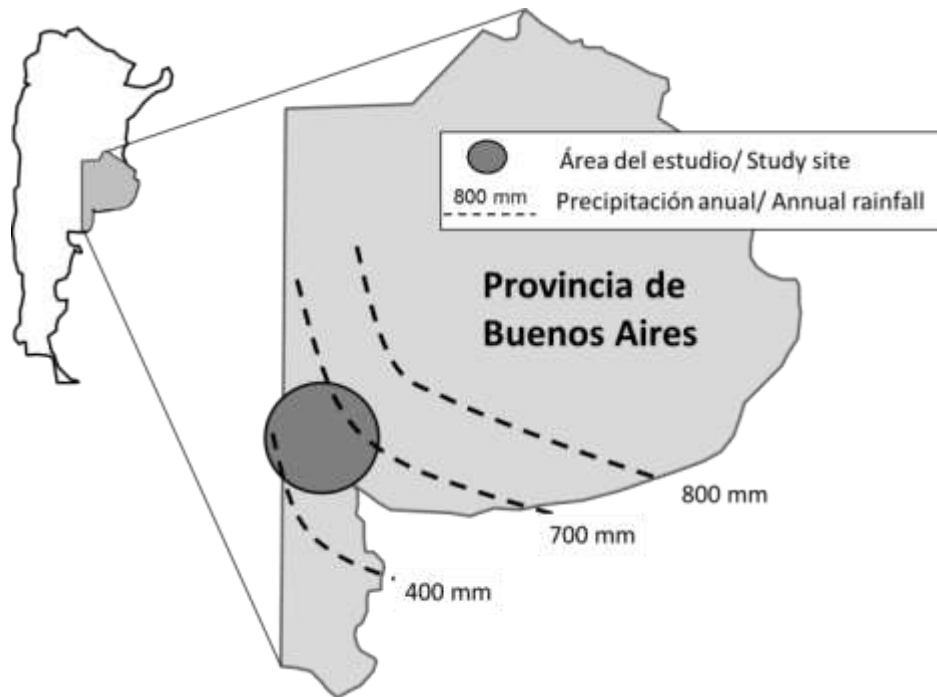


Figura 1 - Ubicación del área estudiada.

Figure 1 - Location of the studied area.

El análisis estadístico consideró efectos de sitio, nivel de N al macollaje y nivel de aplicación de N en antesis. Se realizó un primer análisis de varianza trifactorial (**tabla 2**), pero debido a la existencia de interacciones entre factores, este se desglosó por sitio según un diseño factorial doble en bloques completos aleatorizados y tres repeticiones (nivel de N como factor principal y aplicación en antesis como factor secundario en parcela dividida). La unidad experimental fue de 3 x 10 m. Ante efectos significativos las medias se compararon con el test LSD ($\alpha=0,05$). Se utilizó regresión lineal simple para establecer la relación entre la extracción en grano y la oferta de N. Los análisis estadísticos se realizaron con el software Infostat® (Di Rienzo *et al.*, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones ambientales

La **figura 2** muestra la precipitación media mensual para la serie 1911-2019 en Bordenave y la ocurrida durante los años estudiados. La variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones durante el período estudiado influyó sobre el desarrollo del cultivo y su respuesta a la fertilización nitrogenada, tanto en rendimiento como en el nivel de proteína obtenido. En 2016 precipitaciones cercanas a la media histórica propiciaron condiciones muy favorables para el cultivo. En 2017 el exceso en agosto y septiembre produjo lavado de N en algunos sitios, comprobado por una caída del Ns observada en macollaje. Además, favoreció episodios de roya amarilla (*Puccinia striiformis*) que afectaron al cultivo especialmente en S6. Posteriormente, la



Tabla 1 - Algunas características de los suelos estudiados.
Table 1 - Some characteristics of the soils studied.

N° Sitio	Localidad	MO (g kg ⁻¹)	Pe (mg kg ⁻¹)	Ns (kg ha ⁻¹)	Nan (mg kg ⁻¹)	Clase textural
2016						
S1	Carhué	33	21,1	41	91	F
S2	Carhué	28	17,0	52	45	F
S3	Guaminí	36	13,3	71	77	F
S4	Goyena	25	13,1	53	54	Fa
S5	Pigüé	40	35,3	73	58	Fa
2017						
S6	San Germán	31	14,8	69	57	F
S7	Bordenave	36	33,0	75	52	FA
S8	Tornquist	12	10,6	40	28	FA
S9	Carhué	31	9,5	64	48	F
2018						
S10	17 de Agosto	24	9,5	42	58	FA
S11	Carhué	29	15,1	36	108	Fa
S12	Guatraché	28	6,0	72	50	F
S13	Pigüé	42	19,4	88	72	Fa
2019						
S14	Bordenave	9	18,2	13	23	FA
S15	Carhué	39	44,1	84	86	Fa
S16	Carhué	23	5,8	57	138	Fa
S17	Pigüé	32	12,9	80	89	Fa
S18	Napostá	24	27,3	54	57	Fa

Referencias: MO=materia orgánica en capa 0-0,12 m (Walkley & Black, 1934), Pe=fósforo extractable en capa 0-0,12 m (Bray & Kurtz, 1945), Ns=N de nitratos y amoniacal en capa 0-0,6 m (Bremner & Keeney, 1966), Nan=N en incubación anaeróbica en capa 0-0,2 m (Gianello & Bremner, 1986). Clase textural: AF=arenoso-franco, FA=franco-arenoso, F=franco, Fa=franco-arcilloso.

escasez de lluvias durante el período crítico afectó los rendimientos en S8 y S9. En 2018, se registró una campaña relativamente normal, con precipitaciones cercanas a la media durante el ciclo de cultivo, excepto en S12 con estrés hídrico en agosto y octubre y S13 en octubre y noviembre. La campaña 2019 registró escasas precipitaciones entre junio y mediados de octubre que fueron ligeramente

mayores a la media en noviembre en S17 y S18. La variabilidad climática temporal representó las alternativas que suele enfrentar el cultivo de trigo en la región. La frecuencia relativa de ocurrencia de los registros de estas campañas en la serie histórica de Bordenave fue de: 0,27; 0,30; 0,32 y 0,04 para 2016, 2017, 2018 y 2019 respectivamente.



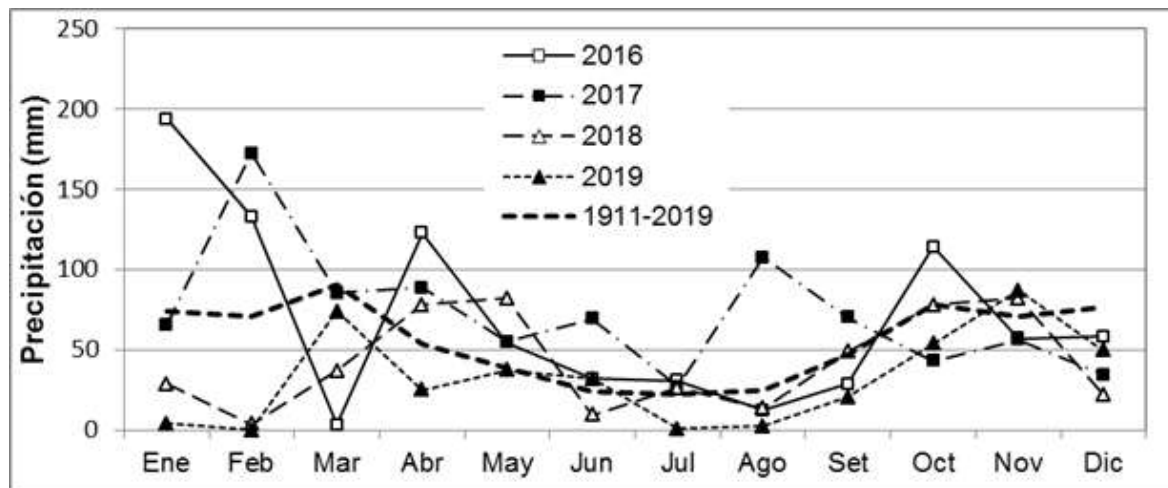


Figura 2 - Precipitación mensual en Bordenave durante los años estudiados y su relación con la serie 1911-2019.

Figure 2 - Monthly rainfall in Bordenave during the studied years and its relationship with the 1911-2019 series.

Nivel de N al macollaje

La **figura 3** muestra la variación de los rendimientos y el contenido de proteína en grano en función del sitio, el nivel de N al macollaje y la aplicación de N en antesis y las tablas 2 y 3 los valores de probabilidad de los respectivos análisis de varianza. En ninguna campaña se observó efecto de la fertilización en antesis sobre el rendimiento. En 2016 los rendimientos variaron entre 2500 y 6100 kg ha⁻¹. Excepto en S3 y S5 la respuesta al nivel de N en macollaje fue significativa, con un incremento medio de 1200 kg ha⁻¹ y sin diferencias entre niveles de fertilización. El contenido de proteína del grano varió entre 81 y 146 g kg⁻¹. La fertilización en macollaje incrementó la proteína en todos los sitios, igual que la aplicación en antesis (excepto S3). En general no se observaron diferencias estadísticas entre 120 y 140N excepto S1. Sin fertilización el estándar comercial sólo se logró en S3, un sitio con alta fertilidad

relativa. Con fertilización al macollaje 120N lo logró en S1 y 140N en el resto. En 2017 el rango de rendimientos fue de 1000 a 4800 kg ha⁻¹. Sólo S6 y S8 respondieron estadísticamente a la fertilización al macollaje, con incrementos medios de 800 y 500 kg ha⁻¹ respectivamente a partir de 100N. El contenido de proteína osciló entre 92 y 150 g kg⁻¹. La fertilización al macollaje incrementó la proteína en S6 (140N), S8 y S9 (100N). Alcanzaron el estándar sin fertilización: S7 y S9. Con rendimientos deprimidos S8 lo logró a partir de 100N, mientras que S6 requirió 140N. Excepto S7, un sitio con alta fertilidad y un cultivar resistente a roya, todos los sitios incrementaron la proteína con la fertilización en antesis. En 2018 se dieron rendimientos entre 2600 y 4900 kg ha⁻¹. Respondieron estadísticamente a la fertilización S10 (100N), con un incremento de 1700 kg ha⁻¹ y S13 (120N) con incrementos de 400 kg ha⁻¹.

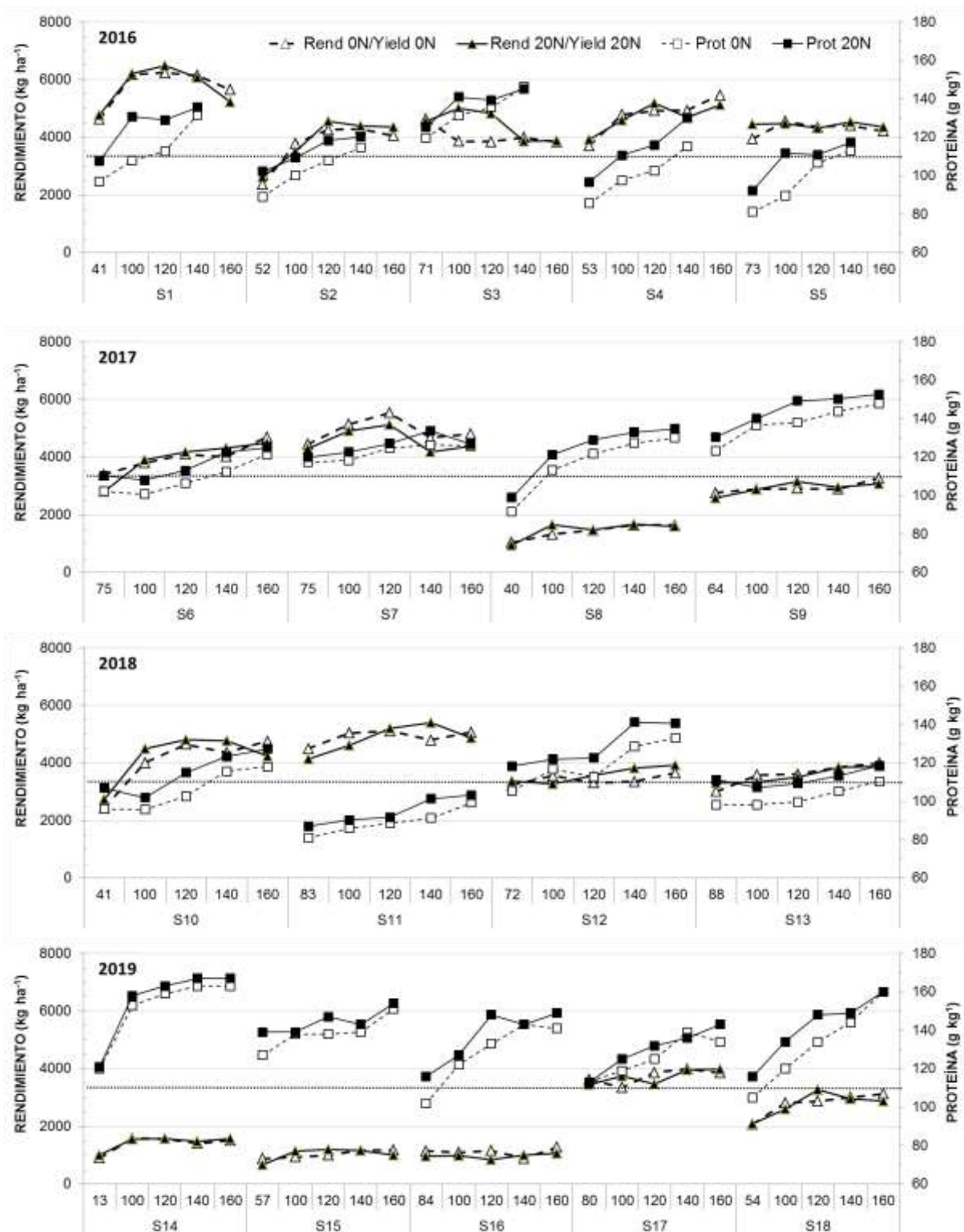


Figura 3 - Rendimientos (Rend) y proteína en grano (Prot) por año, sitio (S#), nivel de N al macollaje (números sobre el identificador del sitio) y nivel de N aplicado en anthesis (0 ó 20N). La línea punteada indica el contenido de proteína correspondiente al estándar de comercialización.
Figure 3 - Yields and grain protein content (Prot) per year, site (S #), N level at tillering (numbers over the identifier of the site) and level of N applied in anthesis (0 or 20N). The dotted line indicates the protein content corresponding to the commercial standard.

Tabla 2 - Valores de probabilidad para los análisis de varianza multifactoriales correspondientes a cada campaña.

Table 2 - Probability values for the multifactorial analysis of variance corresponding to each campaign.

FV	Rend	Prot	Rend	Prot	Rend	Prot	Rend	Prot
	valor p							
	2016		2017		2018		2019	
Factor A	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	sd
Factor B	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	sd
A x B	0,007	0,726	0,014	<0,0001	0,0003	<0,0001	0,051	sd
Factor								
C	0,434	<0,0001	0,171	<0,0001	0,249	<0,0001	0,384	sd
A x C	0,020	0,057	0,086	0,266	0,740	0,458	0,368	sd
B x C	0,225	0,001	0,960	0,524	0,278	0,647	0,428	sd
A x B x								
C	0,630	0,691	0,980	0,949	0,589	0,095	0,011	sd

Referencias: Factor A: Sitio; Factor B: nivel de nitrógeno al macollaje; Factor C: nivel de fertilización foliar en antesis; Ax B, Ax C, Bx C y Ax Bx C: interacciones; sd: sin datos.

La proteína en grano varió entre 81 y 141 g kg⁻¹.

La fertilización al macollaje la incrementó con 120N (S10), 140N (S11 y S12) y 160N (S13). Ningún sitio alcanzó el estándar sin fertilización. Esto se logró con 100N (S12), 140N (S10) y 160N (S13). No alcanzó el estándar S11, aún con 160N, posiblemente por rendimientos elevados. En 2019 los rendimientos variaron entre 1000 y 3900 kg ha⁻¹. Con diferentes niveles de fertilidad respondieron estadísticamente al N los sitios: S14 (100N), S17 (140N) y S18 (120N), con incrementos de 500, 400 y 900 kg ha⁻¹ respectivamente. La proteína varió entre 102 y 165 g kg⁻¹. Por falta de repeticiones no se realizó análisis estadístico de esta variable aunque la figura

3 muestra incrementos asociados con la fertilización al macollaje y antesis. Excepto los Testigos de S16 y S18, todos los sitios y niveles de N superaron el estándar con rendimientos deprimidos por sequía.

En general, niveles de 100 y 120N fueron suficientes para producir incrementos significativos de los rendimientos. Un modelo de tipo lineal-plateau desarrollado sobre la base de las campañas más representativas (2016 a 2018) muestra un umbral crítico de 116 kg N ha⁻¹, asociado a rendimientos medios de 4500 kg ha⁻¹ (**figura 4**). Sin embargo 100 y 120N sólo lograron el estándar de proteína en sitios con alta fertilidad del suelo o con rendimientos reducidos por algún factor ambiental (<2000 kg ha⁻¹). Los niveles de N requeridos para



Tabla 3 - Valores de probabilidad para los análisis de varianza por sitio y campaña.
Table 3 - Probability values for variance analysis by site and campaign

Fte.Variac	Rend	Prot	Rend	Prot	Rend	Prot	Rend	Prot	Rend	Prot
valor p										
2016										
	S1		S2		S3		S4		S5	
Factor B	0,063	0,004	0,027	0,001	0,321	0,060	0,039	0,013	0,834	0,002
Factor C	0,932	0,001	0,390	0,006	0,114	0,317	0,782	0,002	0,618	0,0003
B x C	0,749	0,224	0,731	0,801	0,282	0,846	0,837	0,979	0,954	0,026
2017										
	S6		S7		S8		S9			
					<0,000		<0,000			
Factor B	0,007	0,0013	0,422	0,1873	0,017	1	0,481	1		
Factor C	0,935	0,0026	0,133	0,0668	0,562	0,0021	0,895	0,0014		
B x C	0,669	0,7575	0,928	0,784	0,465	0,9669	0,904	0,6199		
2018										
	S10		S11		S12		S13			
Factor B	0,001	0,0002	0,157	0,006	0,573	0,001	0,003	0,036		
	<0,000				<0,000		<0,000			
Factor C	0,467	1	0,795	0,019	0,267	1	0,808	1		
B x C	0,642	0,704	0,536	0,826	0,613	0,321	0,708	0,722		
2019										
	S14		S15		S16		S17		S18	
Factor B	0,006	sd	0,253	sd	0,637	sd	0,104	sd	0,041	sd
Factor C	0,445	sd	0,900	sd	0,159	sd	0,783	sd	0,789	sd
B x C	0,936	sd	0,159	sd	0,665	sd	0,066	sd	0,074	sd

Referencias: Factor B: nivel de nitrógeno al macollaje; Factor C: nivel de fertilización foliar en antesis; BxC: interacción; S1 a S18: Sitios de experimentación; sd: sin datos.



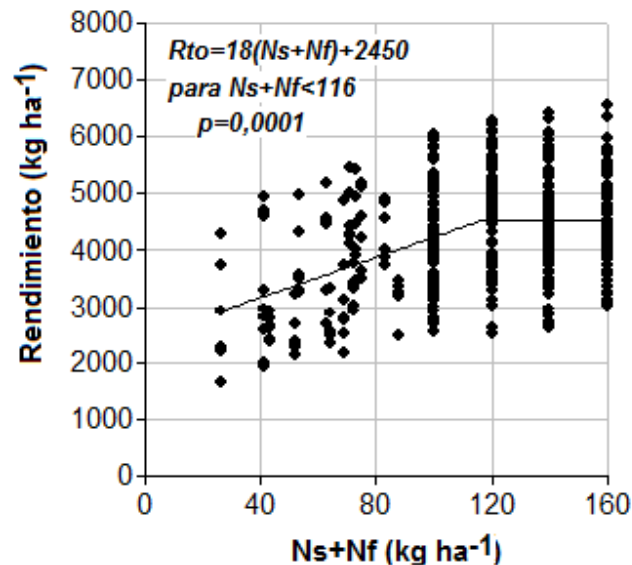


Figura 4 - Variación del rendimiento del trigo en función del nivel de N disponible en el suelo (capa 0 - 0,6 m) más el agregado como fertilizante (Ns+Nf), para las campañas 2016, 2017 y 2018.

Figure 4 - Variation of wheat yield as a function of the level of N available in the soil (layer 0 - 0.6 m) plus the N aggregate as fertilizer (Ns + Nf), campaigns 2016, 2017 and 2018.

obtener valores de proteína acordes con el estándar pueden ser mayores que los necesarios para maximizar el rendimiento (Fowler, 2003).

Relativamente pocos sitios lograron el contenido de proteína requerido sin recurrir a la fertilización. Se trató de suelos con alta fertilidad edáfica (S3, S7 y S17), que lograron rendimientos entre 3500 y 4500 kg ha⁻¹. Cuando bajo circunstancias favorables los rindes superaron los 6000 kg ha⁻¹, aun con alta fertilidad fue necesario un nivel de 120N en S1 para mantener la proteína. Bajo restricciones de disponibilidad de N rendimientos elevados determinan la reducción del contenido de proteína en grano (Calzolari & Polidoro, 2004). En suelos de fertilidad media a baja (S2, S4, S5, S6 y S10), se requirieron niveles de 140N para obtener rendimientos mayores a 3500 kg ha⁻¹ y cumplir con el estándar. Cuando algún efecto ambiental deprimió la

producción de grano, se alcanzó el estándar sin fertilización (S9, S14 y S15) o con menores niveles de N (S8, S12, S16 y S18). En un estudio similar, en el sudeste y sudoeste bonaerense, Bergh *et al.* (2006) lograron rendimientos de 4100 kg ha⁻¹ con niveles al macollaje de 120N sin alcanzar la forma estándar de proteína, para lo cual se requirió un nivel de 160N que no incrementó el rendimiento.

La relación entre el rendimiento y el contenido de proteína fue afectada por el clima (principalmente la variación de las precipitaciones). El rendimiento resulta más afectado por la disponibilidad de agua que por la oferta de N, por lo que en años secos la fertilización tiene mayor efecto incrementando el contenido de proteína por deficiencia de almidón. En campañas favorables el incremento del rendimiento modifica la composición bioquímica del grano, con baja proporción de proteína y alta

acumulación de almidón (Grant et al., 2001; Cuniberti & Mir; 2016).

La oferta de N también influye sobre esta relación: Bajo condiciones favorables y con bajo nivel de N se privilegia el aumento de rendimiento sobre el de proteína. Al aumentar la oferta de N ambas variables pueden crecer simultáneamente hasta que el rendimiento se estabiliza y la proteína puede continuar incrementándose hasta que el N deja de ser el factor limitante. Este esquema, propuesto por Grant et al., 2001 explica aceptablemente el comportamiento de ambas variables observado en la figura 3.

La información obtenida destaca algunas cuestiones en relación con la fertilización nitrogenada en la región semiárida

bonaerense: i) Un correcto diagnóstico de fertilidad puede evitar una aplicación innecesaria y costosa de insumos. Tres sitios lograron altos rendimientos y proteína sólo con los aportes de N del suelo. ii) Con una adecuada oferta de N es posible incrementar rendimientos y calidad. Mientras niveles de 100 y 120N pueden aumentar los rendimientos, 140N fue el que mostró mayor probabilidad de incrementar ambas variables. iii) Las condiciones ambientales ejercen gran influencia sobre el resultado de la práctica. Si son favorables, rendimientos y contenido de proteína se incrementan con la oferta de N aumentando la exportación en grano (figura 5: 2016, 2017a, 2018 y 2019a).

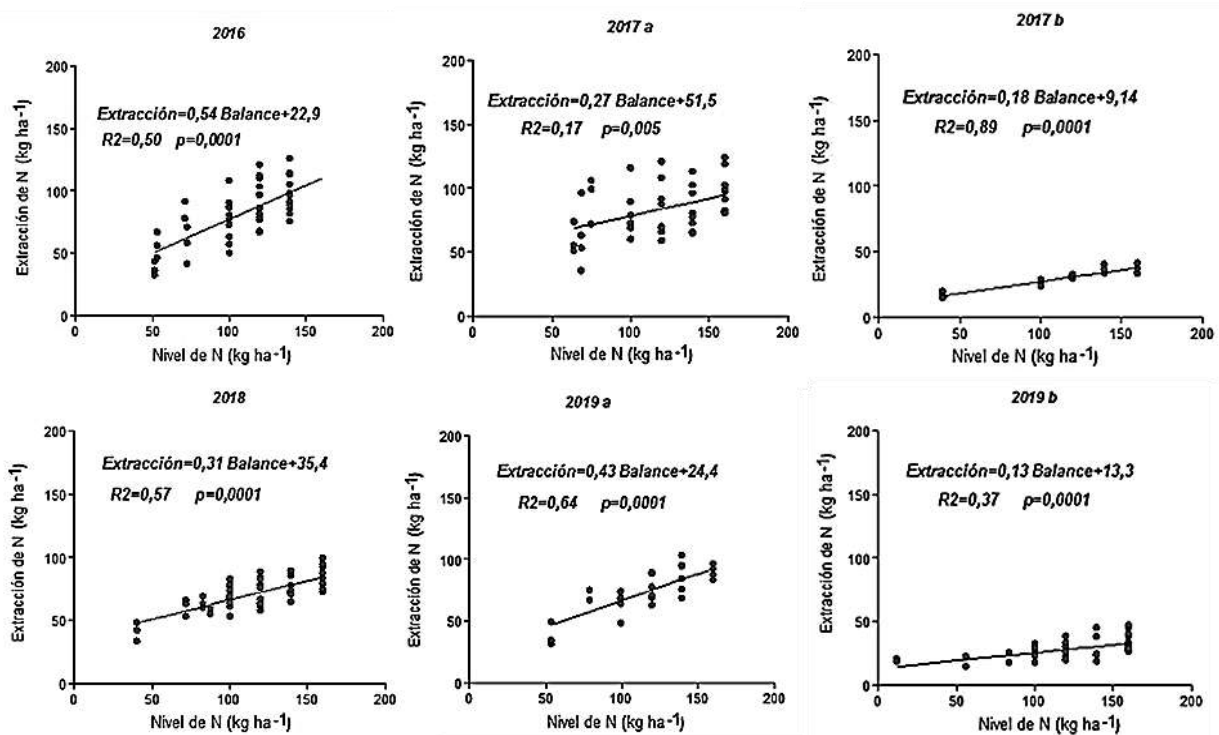


Figura 5 - Relación entre la oferta (nivel de N) y la exportación de N en grano para condiciones ambientales favorables (2016, 2017a, 2018 y 2019a) y desfavorables (2017b y 2019b).

Figure 5 - Relationship between supply (N level) and grain export for favorable environmental conditions (2016, 2017a, 2018 and 2019a) and unfavorable (2017b and 2019b).

En condiciones desfavorables (**figura 5:** 2017b en S8 y 2019b en S14, S15 y S16), los rendimientos se estabilizan y aún deprimen con la oferta de N y sólo aumenta el contenido de proteína. En estos casos disminuye la extracción de N y la eficiencia de la fertilización.

Reussi Calvo *et al.* (2006) determinaron que para el área estudiada, solamente el 27% de los años presentó una adecuada disponibilidad hídrica. Esto plantea un doble problema ya que la fertilización resulta necesaria para incrementar la producción y calidad del trigo, pero la variabilidad climática le impone un alto riesgo económico. Ante esta incertidumbre suele recomendarse una aplicación temprana (siembra o macollaje) para incrementar el rendimiento y después, si las condiciones ambientales y del cultivo así lo indican, una aplicación adicional postergada para mejorar el contenido de proteína en el grano (McKenzie *et al.*, 2006). En circunstancias desfavorables o con bajos rendimientos potenciales, esta última aplicación puede ser suprimida.

Fertilización en antesis

Aunque en 2016 se observó tendencia al incremento de rendimiento por la aplicación en antesis, especialmente en los niveles menores de N, los efectos no resultaron significativos. Esta falta de respuesta ha sido atribuida a condiciones desfavorables durante el llenado del grano (Arango *et al.*, 1990; Landriscini *et al.*, 2015), o a una oferta de N adecuada en etapas tempranas (Varga

& Svecnjak, 2006; Nyiraneza *et al.*, 2012). En la zona central de Santa Fe Orcellet *et al.* (2017) observaron en cambio que la fertilización foliar incrementó no sólo la proteína sino también el rendimiento en situaciones con baja disponibilidad de N.

La aplicación tardía mostró efectos positivos y significativos sobre el contenido de proteína en grano. En el promedio de los niveles de N el incremento fue de 0,8 puntos. Con la misma dosis Echeverría & Studdert (2001) reportaron incrementos de un punto en el sudeste bonaerense. En 2016 se observó correlación negativa entre la oferta de N al macollaje y el incremento de proteína por la aplicación foliar ($p=0,0003$). Aunque el ajuste del modelo fue bajo ($R^2=0,20$), apoya la hipótesis de Varga & Svecnjak (2006) respecto de la pérdida de eficiencia de la fertilización tardía cuando existe suficiencia de N, en este caso representada por los niveles de 140 y 160N.

En función de los niveles identificados como adecuados para obtener incrementos de rendimiento manteniendo el estándar de proteína, más la posibilidad de fraccionar aplicaciones, resulta de interés comparar el efecto del nivel 140N como dosis única al macollaje con el de 120N al macollaje y 20N en antesis (**tabla 4**). No se observaron diferencias entre ambas estrategias verificándose, además, que excepto S11 y S13 todos los sitios alcanzaron el estándar comercial con este nivel de N. Estos resultados generan expectativas favorables a la estrategia del fraccionamiento postulada por McKenzie *et al.* (2006).



CONCLUSIONES

La fertilización nitrogenada permitió incrementar los rendimientos y el contenido de proteína del grano de trigo en la región bajo estudio. Niveles de 100 y 120 kg de N ha⁻¹ incrementaron los rendimientos pero no fueron suficientes para alcanzar el estándar comercial en cuanto a proteína, lo que se logró a partir de 140 kg N ha⁻¹ en un porcentaje importante de los experimentos.

La variabilidad climática y la fertilidad del suelo afectaron la relación oferta-extracción

de N. Bajo condiciones favorables, determinadas por registros de precipitación cercanos a los históricos de la región, se obtuvieron rendimientos elevados que requirieron mayor aporte de N (o fertilidad nativa) para mantener los niveles de proteína en grano. Condiciones climáticas menos favorables los redujeron, permitiendo contenidos de proteína dentro del estándar comercial con menor oferta de N.

Tabla 4 - Comparación entre el contenido de proteína en grano obtenido con un nivel de 140 kg N ha⁻¹ como aplicación única al macollaje (140N) versus 120 kg N ha⁻¹ al macollaje y una aplicación complementaria de 20 kg N ha⁻¹ en antesis (120+20N).

Table 4 - Comparison between protein content in grain obtained with a level of 140 kg N ha⁻¹ as a single application at tillering (140N) versus 120 kg N ha⁻¹ at tillering and a complementary application of 20 kg N ha⁻¹ at anthesis.

		2016				
Nivel N	S1	S2	S3	S4	S5	
----- g kg ⁻¹ -----						
140N	131,7	114,7	146,0	115,3	113,0	
120+20N	129,0	118,3	139,3	116,0	111,0	
		2017				
	S6	S7	S8	S9		
140N	112,5	126,3	127,3	144,0	ab	
120+20N	113,0	127,0	129,0	149,0	b	
		2018				
	S10	S11	S12	S13		
140N	115,7	91,3	129,0	105,3	ab	
120+20N	115,0	91,7	123,0	109,3	b	
		2019 ⁽¹⁾				
	S14	S15	S16	S17	S18	
140N	163,0	139,0	143,0	139,0	144,0	
120+20N	163,0	147,0	148,0	132,0	148,0	

Valores seguidos de la misma letra no difieren significativamente ($\alpha=0,05$).

(1) Sin análisis estadístico.



La aplicación de 20 kg N ha⁻¹ en antesis no incrementó los rendimientos pero sí el contenido de proteína en valores medios de 0,8 puntos. A igual oferta de N, el fraccionamiento de los aportes no modificó el contenido de proteína. Esto posibilita distribuir una oferta de 140 kg N ha⁻¹ en una aplicación al macollaje de 120 kg y una posterior, en antesis, de 20 kg si las condiciones ambientales y el estado del cultivo permiten esperar efectos positivos derivados de esta última.

BIBLIOGRAFÍA

- Arango, M; M Gianibelli & S 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.
- Ashworth J; D Keyes; R Kirk & R Lessar. 2001. Standard procedure in the hydrometer method for particle size analysis. *Commun Soil Sci Plan* 32(5y6):633-642.
- Berger, A; D Vazquez; R Calistro & X Morales. 2014. Acumulación de nitrógeno y determinación de la calidad panadera en trigos de alto rendimiento. Congreso Uruguayo de Suelos y VI Encuentro de la SUCS. Colonia del Sacramento (pp. 6-8). En: <http://suelos.com.uy/pdf/20.pdf>
- Bergh, R; T Loewy & H Echeverría. 2006. Red de fertilización nitrogenada para calidad en trigo pan. Chacra Experimental Integrada Barrow (Convenio INTA-MMA). En: https://www.researchgate.net/profile/Hernan_Echeverria/publication/228811741_red_de_fertilizacion_nitrogenada_para_calidad_en_trigo_pan/links/00b4952431525014dc000000.pdf
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci* 59(1):39-46.
- Bremner J & D Keeney. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soil: exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. *Soil Sci Soc Am Pro* 30:577-582.
- Calzolari, A & O Polidoro. 2004. La calidad del trigo en Argentina. II: Grado de estabilidad de las distintas subregiones. VI Congreso Nacional de Trigo. Bahía Blanca. Buenos Aires.
- Cámara Arbitral de Cereales. Bolsa de Comercio de Rosario. 2020. Cuadros de normas de calidad para la comercialización. En: <https://www.cac.bcr.com.ar/5/10/2020>.
- Cuniberti, M & L Mir. 2016. Proteínas del trigo. Factores que influyen en su expresión. En: INTA Ediciones (Col. Divulgación). Informe de actualización técnica en línea N°4:105-114. Marcos Juárez. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_mj_trigo2016_1.pdf
- Di Rienzo J; F Casanoves; M Balzarini; L González; M Tablada & C Robledo. 2012. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Echeverría H & G Studdert. 2001. Predicción del contenido de proteína en grano de trigo mediante el índice de verdor de la hoja bandera. *Cienc Suelo* 19 (1):67-74.
- Fowler, D. 2003. Crop nitrogen demand and grain protein concentration of spring and winter wheat. *Agron J* 95:260-265.
- Gianello, C & JM Bremner. 1986. A simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Commun Soil Sci Plan* 17(2):195-214.
- Grant, CA; RM McKenzie; CD Rawluk; O Lukow & DN Flaten. 2001. Nitrogen management for enhanced protein content in wheat in the Black soil zone. In: Saskatchewan Soils and Crops Workshop. Saskatoon, Canada. pp. 86-93. In: <https://harvest.usask.ca/bitstream/handle/10388/9828/C.A.%20Grant%20et%20al.,%202001.pdf?sequence=1>. 18/9/2020.



- Landriscini, MR; J Martínez & JA Galantini. 2015. Fertilización foliar con nitrógeno en trigo en el sudoeste bonaerense. *Cienc Suelo (Argentina)* 33(2):183-196.
- Martínez J; J Galantini; MR Landriscini; F López & M Duval. 2016. Fertilización nitrogenada en trigo de la región subhúmeda: EUA y N. *Cienc Suelo (Argentina)* 34(1): 81-92.
- McKenzie, R; E Bremer; CA Grant; A Johnston; J DeMulder & A Middleton. 2006. In-crop application effect of nitrogen fertilizer on grain protein concentration of spring wheat in the Canadian prairies. *Can J Soil Sci* 86(3), 565-572.
- Nyiraneza, J; A Cambouris; N Ziadi; N Tremblay & M Nolin. 2012. Spring wheat yield and quality related to soil texture and nitrogen fertilization. *Agron J* 104(3):589-599.
- Orcellet, J; D Pérez; N Reussi Calvo & H Sainz Rozas. 2017. Fertilización foliar nitrogenada en estadios avanzados del cultivo de trigo: Efectos sobre rendimiento y contenido de proteína. En: INTA, EEA Rafaela. Información Técnica de trigo y otros cultivos de invierno. Campaña 2017. Publicación Miscelánea N°133:53-62. En: https://repositorio.inta.gov.ar/bitstream/handle/20.500.12123/3319/INTA_CRSantaFe_EEARafaela_Infomacion_tecnica_trigo_y_otros_cultivos_invierno_campana_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=57. 28/10/2020.
- Pagnan, L; G Pesaola; J Bruno; L Errasquin; R Alladio. 2016. Efecto de la aplicación foliar tardía de nitrógeno sobre el rendimiento y la calidad comercial de cultivares de trigo. En: INTA Ediciones (Col. Divulgación). Informe de actualización técnica en línea N°4:27-30. EEA Marcos Juárez. En: https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_mj_trigo2016_1.pdf. 5/10/2020.
- Reussi Calvo, N & H Echeverría. 2006. Estrategias de fertilización nitrogenada en trigo: balance hídrico para el sur bonaerense. *Cienc Suelo (Argentina)* 24(2):115-122.
- Ron M & T Loewy. 2000. Modelo de fertilización nitrogenada y fosforada para trigo en el sudoeste bonaerense, Argentina. *Cienc Suelo (Argentina)* 18 (1):44-49.
- Salomón, N; B Aldalur; M Cuniberti & R Miranda. 2013. Distribución de la calidad del trigo pan argentino utilizando mapas del sistema de información geográfica. *RIA* 39(1):41-50.
- Triboï, E; A Abad; A Michelena; J Lloveras; J Ollier & C Daniel. 2000. Environmental effects on the quality of two wheat genotypes: 1. Quantitative and qualitative variation of storage proteins. *Eur J Agron* 13 (2000), pp. 47-64.
- Vázquez, D; A Berger; M Cuniberti; C Bainotti; M Zavariz; P Scheeren; C Jobet; J Zuñiga; G Cabrera; R Verges & R Peña. 2012. Influence of cultivar and environment on quality of Latin American wheats. *J Cereal Sci* 56:196-203.
- Varga, B & Z Svecnjak. 2006. The effect of late-season urea spraying on grain yield and quality of winter wheat cultivars under low and high basal nitrogen fertilization. *Field Crops Res* 96: 125-132.
- Verón, SR; JM Paruelo; OE Sala & WK Lauenroth. 2002. Environmental controls of primary production in agricultural systems of the Argentine Pampas. *Ecosystems* 5:625-635.
- Walkley A & IA Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci* 37:29-37.
- Zhang, P & T Oweis. 1999. Water yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agr Water Manage* 38:195-211.
- Zilio, JP; H Krüger; E Tranier & F Frolla. 2020. Fertilización nitrogenada y rendimientos de trigo en el sudoeste bonaerense. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Corrientes

