

Variabilidad en la respuesta a nutrición en cultivares de trigo y cebada cervecera Campaña 2019/20

*Ing. Agr. (MSc) Gustavo N. Ferraris, ** Leonardo Ortis
Abril 2020

Introducción

En la Región Pampeana Argentina, el trigo es el cultivo de invierno que ocupa la mayor superficie con 6,8 millones de has y 19,5 millones de toneladas producidas durante la campaña 2019/20 (Fuente: Bolsa de Comercio de Rosario). El cultivo ha presentado un notable avance en genética, acompañado por un intensivo uso de tecnología, destacando entre los principales a la fertilización. No obstante la detección de carencias de meso y micronutrientes como azufre o zinc, nitrógeno (N) y fósforo (P) continúan siendo los principales.

En la Región Pampeana existe abundante información para la elección de cultivares de trigo según se priorice rendimiento, calidad o sanidad. Esta información es generada a través de una red oficial sistematizada por INASE (ROET, 2020), bien complementada por un importante número de experimentos regionales. Sin embargo, poco se conoce de la interacción entre genética y nivel tecnológico. Battenfield, *et al.*, (2018) demostraron que existe respuesta diferencial a la fertilización según genotipo. Esto fue señalado en la región Norte de Buenos Aires por Ferraris y Arias Usandivaras (2018). La fertilización fosforada a su vez interactúa con la respuesta a N. La deficiencia de P reduce la eficiencia de uso de N. Al afectar la absorción total del nutriente, podría reducir el rendimiento pero también la concentración de proteína en grano (Ferraris *et al.*, 2017).

El objetivo de esta investigación fue 1. Evaluar el comportamiento de diferentes cultivares de trigo pan y cebada cervecera en rendimiento y concentración de proteína como respuesta a la implementación de diferentes estrategias de fertilización con NP, y 2. Analizar la interacción fertilización x genotipo.

Materiales y Métodos

Durante el ciclo 2019, se condujo en la EEA INTA Pergamino un experimento de campo donde se evaluó la respuesta de cultivares de trigo y cebada a niveles crecientes y secuenciales de fertilización. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con 2 repeticiones, tratamientos en arreglo factorial completo de dos variables: Fertilización (4 niveles) y Genotipo (20 niveles) resultando el diseño en 80 tratamientos. Las fuentes utilizadas fueron superfosfato triple de calcio (SPT) (0-20-0), Urea granulada (UG)(46-0-0) y Foliar N20 (F20N) (20-0-0, 1,18). Todos los tratamientos recibieron 20 kgS ha⁻¹ como Sulfato de Calcio.

Los tratamientos evaluados se presentan en la Tabla 1. Por su parte, los análisis de suelo en la Tabla 2.

Tabla 1: Cultivares y tratamientos de fertilización evaluados en el experimento. (s): aplicación de fertilizante a la siembra. (m): aplicación de fertilizante en macollaje. (hb): aplicación de fertilizante en hoja bandera.

Cultivares	Fertilización
DM Ceibo	
Bio Guayabo	
DM Audaz	T1: SPT 100 kg ha ⁻¹ (s) UG 120 kg ha ⁻¹ (s)
Buck Saeta	
Buck Cambá	
ACA 365	T2: SPT 100 kg ha ⁻¹ (s) UG 120 kg ha ⁻¹ (s)
Baguette 750	
DM Algarrobo	UG 120 kg ha ⁻¹ (m)
Buck Cumelen	
DM Ñandubay	T3: SPT 100 kg ha ⁻¹ (s) UG 120 kg ha ⁻¹ (s)
Baguette 620	
Buck SY120	F20N 90 l ha ⁻¹ (hb)
Baguette 450	
ACA 915	T4: SPT 200 kg ha ⁻¹ (s) UG 120 kg ha ⁻¹ (s) UG 120 kg ha ⁻¹ (m) F20N 90 l ha ⁻¹ (hb)
Cebada ACA Fátima	
Cebada ACA Sinfonía	
MS INTA 817	
Klein Potro	
Klein Valor	
MS INTA 819	

Tabla 2: Datos de suelo al momento de la siembra

Profundidad	pH	Materia Orgánica	P-disp.	N-Nitratos 0-20 cm	N-Nitratos suelo 0-60 cm	S-Sulfatos suelo 0-20 cm	Zn
cm	agua 1:2,5	%	ppm	ppm	kg ha ⁻¹	ppm	ppm
0-20 cm	5,6	2,26	15,2	9,7	45,1	8,0	0,86
20-40 cm	5,9	1,67	13,8	5,1		7,2	
40-60 cm				2,6			

Durante el ciclo se registraron detecciones de royas, en su variedad estriada y de la hoja, lo mismo que manchas foliares, todas en baja severidad. Para evitar que afectaran los rendimientos, se realizaron dos aplicaciones de fungicidas durante el ciclo, cuando la mayoría de los cultivares se encontraban en los estados de Zadoks 32 y 65 (Zadoks *et al.*, 1974), combinando principios activos del grupo de las estrubilurinas, triazoles y carboxamidas. La cosecha se realizó en forma mecánica, mediante una cosechadora experimental de parcelas. La concentración de proteína se determinó mediante espectrometría de infrarrojo cercano (NIRS). Los resultados se analizaron mediante partición de varianza, analizando los efectos de cultivar, fertilización y la interacción cultivar x fertilización.

Resultados y Discusión

a) Condiciones ambientales de la campaña

Típico cereal de invierno, el trigo con frecuencia debe atravesar agudos procesos de estrés. La campaña 2019 no ha sido ajena a este escenario. El cultivo comenzó su ciclo con una buena recarga inicial, algo superior a la precedente. Sin embargo, esta aparente abundancia dio paso a un duro invierno, con bajas precipitaciones que se prolongaron hasta muy entrada la primavera (Figura 1). En esta etapa, se intercalaron algunas heladas severas con baja humedad relativa, siendo agresivas para el área foliar. Las más destacadas se registraron entre el 3 y 5 de septiembre. La acumulación de biomasa se vio reducida, y el aporte externo de nutrientes resultó crítico por la baja mineralización. La prolongación del clima invernal provocó una cosecha anticipada, que sin embargo no afectó de manera crucial los rendimientos, los cuales podrían considerarse aceptables. Por último, el cociente fototermal fue favorable, el máximo desde 2013 (Tabla 3) dado el escaso número de días nublados y/o con precipitaciones.

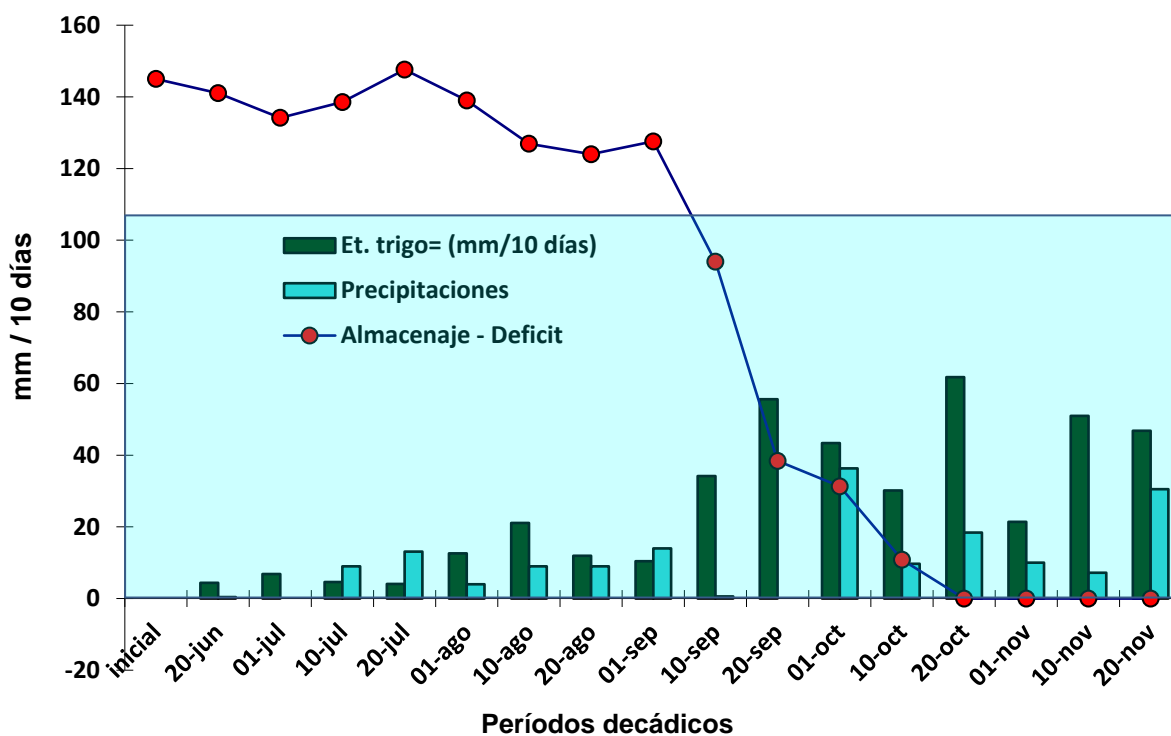


Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y agua útil remanente (mm). Cuando el almacenaje cae dentro del área celeste, la demanda del cultivo podría no ser abastecida completamente, generando un déficit de evapotranspiración. Valores acumulados cada 10 días en mm. Trigo, EEA Pergamino, año 2019. Agua útil inicial (150 cm) 145 mm. Precipitaciones totales durante el ciclo 171,2 mm. Déficit de evapotranspiración 104 mm.

En la Figura 3 se presenta el cociente fototermal (Q) (Fisher, 1985), el cual representa la relación existente entre la radiación efectiva diaria en superficie y la temperatura media diaria, y es una medida del potencial de crecimiento por unidad de tiempo térmico de desarrollo. En 2019 se verificaron pocos días nublados (Figura 3 y Tabla 3). Fue el máximo observado desde 2013, aunque inferior al año 2009, el más favorable de los últimos 15 ciclos (Tabla 3).

Tabla 3: Insolación efectiva (hs), Temperatura media (C°) y Cociente fototermal Q (T base 0°C) para el período crítico del cultivo de Trigo en la localidad de Pergamino durante las últimas 15 campañas. 1 al 30 de octubre en 2010, y 15 de setiembre al de 15 de octubre en el resto de los años.

Condiciones ambientales	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016	Año 2017	Año 2018	Año 2019
Insolación Efectiva media (hs)	7,2	7,1	5,9	6,9	8,3	7,45	6,8	5,0	5,6	6,2	5,3	5,4	6,2	7,0	7,0
T media del período °C	15,1	17,1	15,0	16,4	13,4	14,8	14,8	14,3	13,5	15,1	13,8	15,5	15,8	16,6	15,7
Cociente fototermal (Q) (Mj m-2 día-1 °C-1)	1,24	1,10	1,12	1,10	1,56	1,34	1,19	1,11	1,20	1,11	1,11	0,98	1,05	1,09	1,16

b) Resultados de los experimentos.

En las Tabla 4 se presentan los rendimientos (Tabla 4) y concentración de proteína en grano (Tabla 5) de los diferentes tratamientos.

En promedio de todos los cultivares, cada mejora en la fertilización significó un salto significativo en los rendimientos. El rendimiento medio del tratamiento base estuvo por debajo del potencial de la genética y el sitio (Tabla 4). Los incrementos fueron de mayor importancia por las aplicaciones al suelo. El tratamiento T2, que consideró refertilización con N60, incrementó la productividad en 543,7 kg ha⁻¹ de rendimiento (Tabla 4). Esto significa una eficiencia de 9,1 kg grano : kgN⁻¹, siendo inferior al valor de 17,7 determinado en la campaña anterior. La aplicación tardía de N (T3) impactó en rendimiento subiéndolo en 257,5 kg ha⁻¹. Finalmente, el tratamiento completo (T4) evidencia una fuerte interacción positiva NxP sobre rendimiento y calidad. El diferencial sobre T1 alcanzó a 1029,8 kg ha⁻¹ y 1,5 % de proteína. Se sugiere que no sólo el N, sino principalmente también el P originaría este comportamiento. Duplicar la aplicación de P habría incrementado la eficiencia agronómica de uso de N (EaUN), determinada a través del incremento de rendimiento por unidad adicional de N aplicado. Esto fue mencionado por Ferraris *et al.*, (2017), sobre un experimento de larga duración consistente en diferentes aplicaciones de P prolongadas a través del tiempo.

La concentración de proteína en granos (%) reflejó un fuerte efecto de tratamiento, en un rango de 1,5 % (T4-T1). Fue muy relevante el efecto de la fertilización nitrogenada foliar tardía, aumentando este parámetro en 0,8% (T2-T1) a 1,1 % (T4-T3). El coeficiente de variación de la concentración de proteína más elevado en los tratamientos sin aplicación foliar en Zadoks 39 (T3, T4) respecto de aquellos tempranos (T1, T2). Esto significa que ante fertilización escasa o tardía, el efecto varietal sobre la proteína se acentúa (Tabla 5). Se identificaron variedades de alto contenido de proteína y bajo coeficiente de variación, demostrando ser conservativas y con alta partición de N a grano, como Baguette 450, ACA 915 y MS INTA 819 (Tabla 5). La variabilidad de respuesta a la fertilización entre genotipos fue reportada anteriormente por Ferraris y Arias Usandivaras (2018). Wang *et al.*, (2018) mencionan asimismo interacción entre fertilización nitrogenada y eficiencia de uso de agua, y variabilidad genética para ambos factores.

Tabla 4: Rendimiento de cultivares de trigo/cebada según tratamiento de fertilización. Pergamino, campaña 2019/20.

	Rendimientos (kg ha ⁻¹)				Promedio Variedad
	T1	T2	T3	T4	
DM Ceibo	4622,8	4807,0	4631,6	5701,8	4940,8
Bio Guayabo	4561,4	4771,9	5289,5	6482,5	5276,3
DM Audaz	4052,6	4087,7	4263,2	5043,9	4361,8
Buck Saeta	4578,9	4859,6	4964,9	5903,5	5076,8
Buck Cambá	5096,5	5105,3	5263,2	6035,1	5375,0
ACA 365	4754,4	5535,1	4973,7	5271,9	5133,8
Baguette 750	4754,4	5122,8	5105,3	5543,9	5131,6
DM Algarrobo	4491,2	4807,0	5140,4	4886,0	4831,1
Buck Cumelen	4596,5	4850,9	4789,5	5245,6	4870,6
DM Ñandubay	4719,3	4807,0	5175,4	5614,0	5078,9
Baguette 620	4578,9	6157,9	5043,9	5921,1	5425,4
Buck SY120	4640,4	6456,1	4552,6	5912,3	5390,4
Baguette 450	4473,7	4903,5	4342,1	5105,3	4706,1
ACA 915	3798,2	5421,1	4298,2	5693,0	4802,6
Cebada ACA Fátima	4315,8	5140,4	4818,9	5070,2	4836,3
Cebada ACA Sinfonía	3903,5	4912,3	4736,8	5815,8	4842,1
MS INTA 817	3736,8	4500,0	4498,0	5236,8	4492,9
Klein Potro	5166,7	4868,4	4701,8	5517,5	5063,6
Klein Valor	4657,9	4944,4	4263,2	5912,3	4944,4
MS INTA 819	4035,1	4350,9	3833,3	4219,3	4109,6
Promedio fertilizante	4476,8	5020,5	4734,3	5506,6	

Tabla 5: Concentración de proteína en grano de diferentes cultivares según tratamientos de fertilización. Pergamino, campaña 2019/20.

	Proteína (%)				Promedio Variedad	CV (%)
	T1	T2	T3	T4		
DM Ceibo	9,4	10,9	10,0	11,4	10,4	8,5
Bio Guayabo	10,2	11,1	10,8	10,8	10,7	3,5
DM Audaz	9,8	11,4	10,5	11,8	10,9	8,2
Buck Saeta	9,8	12,1	10,7	12,7	11,3	11,8
Buck Cambá	10,6	11,9	11,0	12,3	11,5	6,9
ACA 365	10,7	12,2	11,1	12,9	11,7	8,7
Baguette 750	10,1	11,4	10,8	12,1	11,1	7,8
DM Algarrobo	10,2	11,9	10,5	12,0	11,2	8,5
Buck Cumelen	10,8	12,3	12,1	12,5	11,9	6,6
DM Ñandubay	10,8	12,0	10,2	11,7	11,2	7,6
Baguette 620	9,9	9,5	9,9	11,1	10,1	6,9

Buck SY120	11,9	10,5	11,1	12,0	11,4	6,3
Baguette 450	12,3	11,1	12,0	12,5	12,0	5,2
ACA 915	11,4	12,6	11,5	12,6	12,0	5,4
Cebada ACA Fátima	11,1	10,8	12,0	12,6	11,6	7,1
Cebada ACA Sinfonía	11,3	11,1	12,1	11,8	11,6	4,0
MS INTA 817	11,2	9,8	10,5	11,2	10,7	6,2
Klein Potro	10,0	10,6	10,5	12,2	10,8	8,8
Klein Valor	9,9	11,4	10,7	12,0	11,0	8,2
MS INTA 819	11,5	12,8	12,4	13,3	12,5	6,0
Promedio fert	10,6	11,4	11,0	12,1		
CV (%)	7,5	7,7	6,8	5,2		

Las variedades podrían ordenarse de acuerdo a su tendencia a privilegiar rendimiento o la acumulación de proteína. El primer grupo lo representan las variedades como Baguette 620, SY 120, Buck Cambá, Baguette 750, DM Ñandubay, Buck Saeta, Klein Potro, Klein Valor, DM Ceibo y DM Algarrobo. El comportamiento opuesto correspondería a Baguette 450 y MS INTA 819. Un grupo equilibrado lo constituyen ACA 365, Buck Cumelén, ACA 915 y las cebadas ACA Sinfonía y ACA Fátima. En este caso, si bien los rendimientos no son los máximos, guardan una buena relación entre rendimiento y calidad.

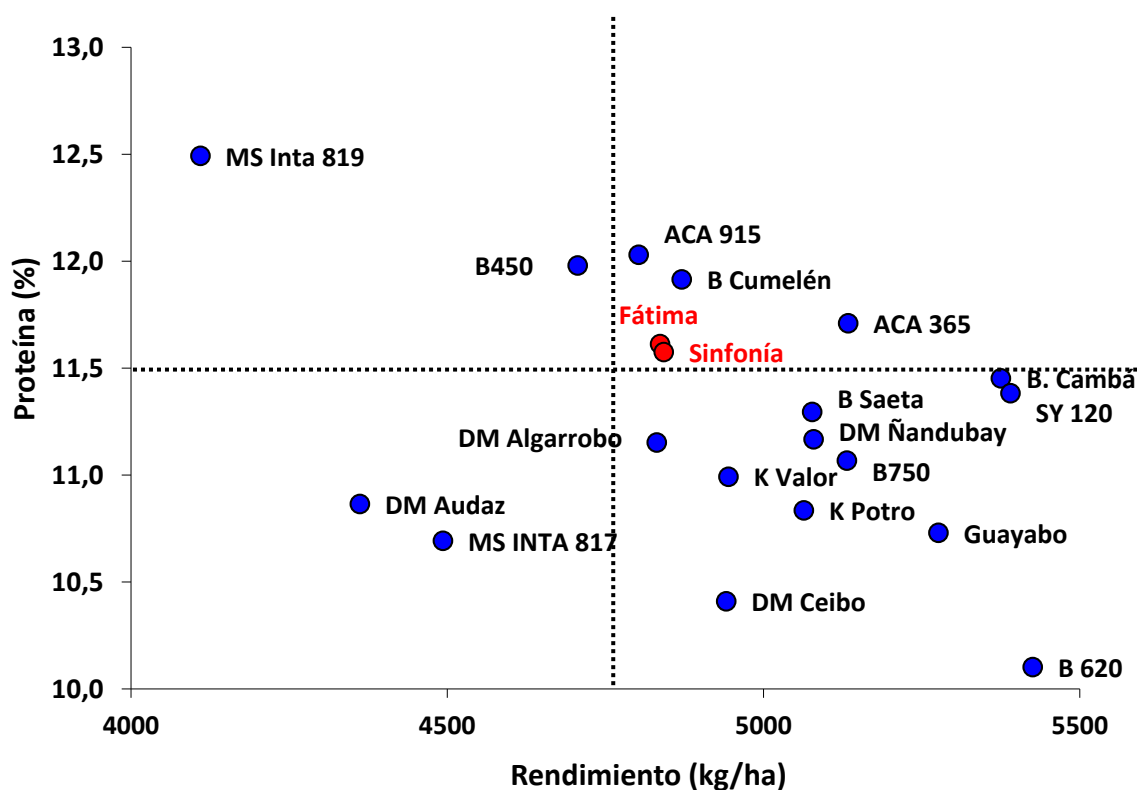


Figura 2: Relación entre concentración de proteína (%) y rendimiento (kg ha^{-1}) para cada uno de los cultivares evaluados, promedio de 4 tratamientos de fertilización. EEA INTA Pergamino, año 2019/20.

La concentración de proteína respondió a la relación N/ton rendimiento, ajustando a una función (Figura 3). El sistema se comportó como muy conservativo del N y con una elevada partición a proteína. Algunas variedades muestran una mayor partición a proteína y se posicionan sobre la curva de tendencia i.e ACA 365, MS INTA 819, ACA 915, B450, Buck Cumelén, Cebada Sinfonía. Otras presentan tendencia a la dilución, siempre por debajo de la función

general i.e B620, Bioceres Guayabo, DM Ceibo, DM Algarrobo. Finalmente, otras se alínean con buen ajuste a la curva de dilución siendo las más sensibles a manejo, como SY 120, DM Ñandubay o Cebada Fátima (Figura 3).

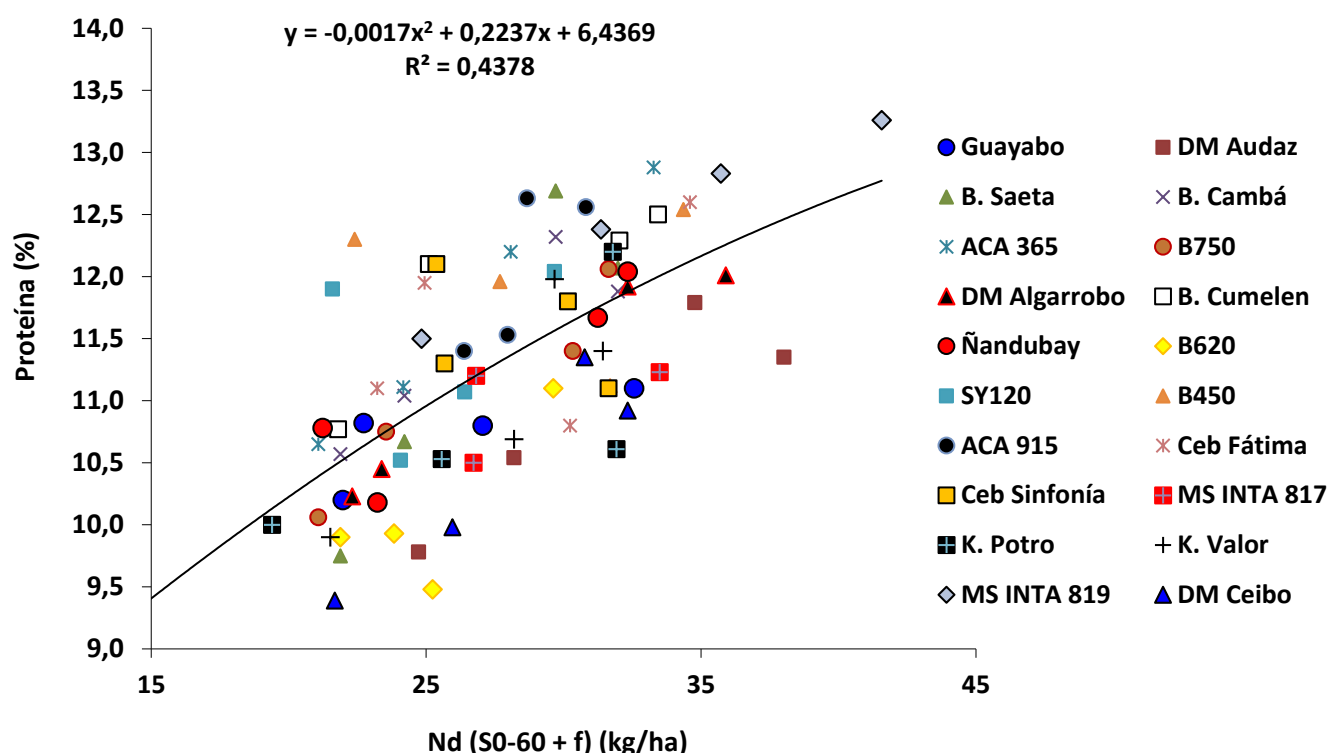


Figura 3: Relación entre concentración de proteína (%) y Nitrógeno disponible (kg ha⁻¹) por unidad de rendimiento para cada uno de los cultivares evaluados, promedio de 4 tratamientos de fertilización. EEA INTA Pergamino, año 2019/20.

Conclusiones

Se determinaron rendimientos muy satisfactorios para un año con restricciones hídricas. Esto permitió un uso eficiente y conservativo del N, para rendimiento y especialmente proteína en grano.

Los sistemas actuales se muestran limitados en NP, mostrando una considerable respuesta al incremento de dosis y al momento de aplicación. Las aplicaciones de Zadoks 39 fueron exitosas, con efecto sobre productividad y calidad. Un correcto ajuste de dosis de NP, aplicado de manera secuenciada durante ciclo, pareciera la estrategia recomendable para balancear ambos parámetros.

La concentración de proteína ajustó a una función de dilución, permitiendo construir un modelo general. Este mostró una elevada pendiente, sin alcanzar un máximo "plateau" dentro del rango observado en el experimento. Por su parte, los cultivares evidenciaron cambios en los niveles de partición, priorizando rendimiento o calidad, y diferentes grados de ajuste a la función de dilución general. El experimento demuestra que es posible elegir variedades con buen comportamiento en rendimiento y concentración de proteína, las cuales son sensibles al manejo de la fertilización.

Agradecimientos

Los autores desean al Lic Mauro Meier del Laboratorio de Biotecnología y a Pablo Pérez del grupo de Investigación y Desarrollo de Trigo, del Criadero de semillas de ACA, Asociación de Cooperativas Argentinas, por los análisis de proteína realizados.

Bibliografía consultada

- * Battenfield, S. D., Guzmán, C., Gaynor, R. C., Singh, R. P., Peña, R. J., Dreisigacker, S., & Poland, J. A. 2016. Genomic selection for processing and end-use quality traits in the CIMMYT spring bread wheat breeding program. *The plant genome*, 9(2).
- * Ferraris, G. N., & Arias Usandivaras, L. M. 2018. Respuesta diferencial a estrategias de nutrición en cultivares de trigo y cebada cervicera. *Revista de Tecnología Agropecuaria*. INTA EEA Pergamino. Vol 10, N 36
- * Ferraris, G.N, M. Toribio, R. Falconi y F. Moriones. 2017. Estrategias de fertilización: efectos sobre rendimientos, balance de nutrientes y fertilidad de los suelos. *ACTAS Resumen de Talleres. XXIV Congreso AAPRESID 2017. "Kairos"*. Rosario, 1 a 4 de Agosto de 2017.
- * Makary, T., Schulz, R., Müller, T., & Pekrun, C. (2019). Simplified N fertilization strategies for winter wheat. Part 1: plants: compensation capacity of modern wheat varieties. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1-11.

- * ROET. 2019. Red official de ensayos territoriales de Trigo. INASE. Disponible on line: <https://www.argentina.gob.ar/inase/red-de-ensayos-comparativos-de-variedades-de-trigo/campana-20182019>.
- * Vazquez, D., Berger, A., Prieto-Linde, M. L., & Johansson, E. (2019). Can nitrogen fertilization be used to modulate yield, protein content and bread-making quality in Uruguayan wheat?. *Journal of cereal science*, 85, 153-161.
- * Wang, L., Palta, J. A., Chen, W., Chen, Y., & Deng, X. 2018. Nitrogen fertilization improved water-use efficiency of winter wheat through increasing water use during vegetative rather than grain filling. *Agricultural Water Management*, 197, 41-53.