

Variabilidad en la respuesta a la fertilización en cultivares de trigo y cebada cervecera en un escenario de déficit hídrico Campaña 2020/21

*Ing. Agr. Gustavo N. Ferraris, ** Ing. Agr. Marcelo López.
** Ing. Agr. Julieta Robredo, *** Ing. Agr. Leandro Ortis

Abril 2021

INTRODUCCIÓN

En la Región Pampeana Argentina, el trigo es el cultivo de invierno que ocupa la mayor superficie con 6,5 millones de has y 17 millones de toneladas producidas durante la campaña 2020/21 (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. Nitrógeno (N) y fósforo (P) continúan siendo los principales nutrientes deficitarios, determinando las respuestas de mayor frecuencia y magnitud.

Aualmente se genera información para la elección de cultivares de trigo basada en atributos de rendimiento, calidad o sanidad. La referencia es la red oficial sistematizada por INASE (ROET, 2021), 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) y Ferraris y Ortis (2020).

La campaña 2020 se presentó singularmente adversa para el cultivo. Con una media recarga hídrica inicial, el invierno resultó seco y frío. La falta de humedad se trasladó hacia el llenado de granos, con temperaturas excesivas. Existe variabilidad genética en la respuesta a estrés hídrico (Schmidt *et al.*, 2020), frío (Zhao *et al.*, 2020) y golpe de calor (Gupta *et al.*, 2020; Shew *et al.*, 2020). La nutrición podría mejorar la tolerancia. A modo de ejemplo, P incrementa la exploración radicular (Li *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2020), mientras que elementos como potasio (K), calcio (Ca) o azufre (S) facilitan la regulación osmótica (Mahmood *et al.*, 2020).

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 disminuir 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 como respuesta a la implementación de diferentes estrategias de fertilización con NP, 2. Identificar los factores que explican la productividad, y 3. Analizar la interacción fertilización x genotipo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el ciclo 2020, se condujeron sendos experimentos de campo en la EEA INTA Pergamino y en el campo experimental de la empresa Lares, SRL también en el partido de Pergamino y a 30 km al noroeste del anterior. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con 2 repeticiones, y tratamientos en arreglo factorial completo de dos variables: Fertilización (4 niveles) y Genotipo (25 niveles en CExp INTA, 23 en CExp Lares) resultando el diseño en 100 o 92 tratamientos. Las fuentes utilizadas fueron superfosfato triple de calcio (SPT) (0-20-0), Urea granulada (UG)(46-0-0) y Fronda N20 (F20N) (20-0-0, δ 1,18). Todas las parcelas recibieron 20 kgS ha⁻¹ como Sulfato de Calcio, para aislar el efecto de dichos elementos.

Los tratamientos evaluados se presentan en la Tabla 1. Los análisis de suelo se describen 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
ACA 365	Illinois IS 1833	T1: SPT 100 kg ha ⁻¹ (s) UG 120 kg ha ⁻¹ (s)
ACA 920	Illinois IS Hornero	
Bioceres Gynko	Illinois IS Tordo	T2: SPT 100 kg ha ⁻¹ (s) UG 120 kg ha ⁻¹ (s) UG 120 kg ha ⁻¹ (m)
Buck SY 120	Klein Favorito II	
Buck Colihue	Klein Géminis	T3: SPT 100 kg ha ⁻¹ (s) UG 120 kg ha ⁻¹ (s) F20N 90 l ha ⁻¹ (hb)
Buck Cambá	Klein Potro	
Buck Saeta	Klein Valor	
Don Mario Algarrobo	Limagrain Arslack	T4: SPT 200 kg ha ⁻¹ (s) UG 120 kg ha ⁻¹ (s)
Don Mario Pehuen	Limagrain Alazan	

Don Mario Sauce	Macroseed MS 119	UG 120 kg ha ⁻¹ (m) F20N 90 l ha ⁻¹ (hb)
Don Mario Ñandubay	Macroseed MS 415	
Don Mario Alerce	Nidera Baguette 620	
Don Mario Audaz	Nidera Baguette 550	
Don Mario Ceibo	Nidera Baguette 450	
	Cebada ACA Fátima Cebada ACA Sinfonía	

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
Campo Experimental INTA Pergamino							
0-20 cm	5,1	2,81	10,4	10,8	50,4	6,2	0,70
20-40 cm				5,7			
40-60 cm				2,9			
Campo Experimental Lares							
0-20 cm	5,8	2,73	6,8	6,8	31,7	7,5	0,43
20-40 cm				3,6			
40-60 cm				1,8			

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. Entre las observaciones, se cuantificó la concentración de clorofila por medio del medidor Minolta Spad 502 en Zadoks 39, y la materia seca aérea total acumulada en antesis, intercepción de radiación y NDVI por Green seeker en Zadoks 65. La cosecha se realizó en forma mecánica, mediante una cosechadora experimental de parcelas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Condiciones ambientales de la campaña

El trigo transitó un invierno con escasas precipitaciones, las cuales fueron prácticamente nulas hasta finales de Agosto, sumando a cosecha 136,2 mm por debajo de la media. Estos valores son aun inferiores a la campaña 2019, también seca (Figura 1). Las reservas de agua en el suelo se mantuvieron entre octubre y diciembre en valores cercanos al PMP, alrededor del mínimo histórico (Figura 2). En cuanto a las temperaturas, se registraron fuertes heladas en julio, agosto y septiembre (Figura 3) que dañaron los cultivos. Aun con bajas pronunciadas la temperatura media estuvo por arriba de su valor histórico, acentuando la exigencia hídrica (Figura 3).

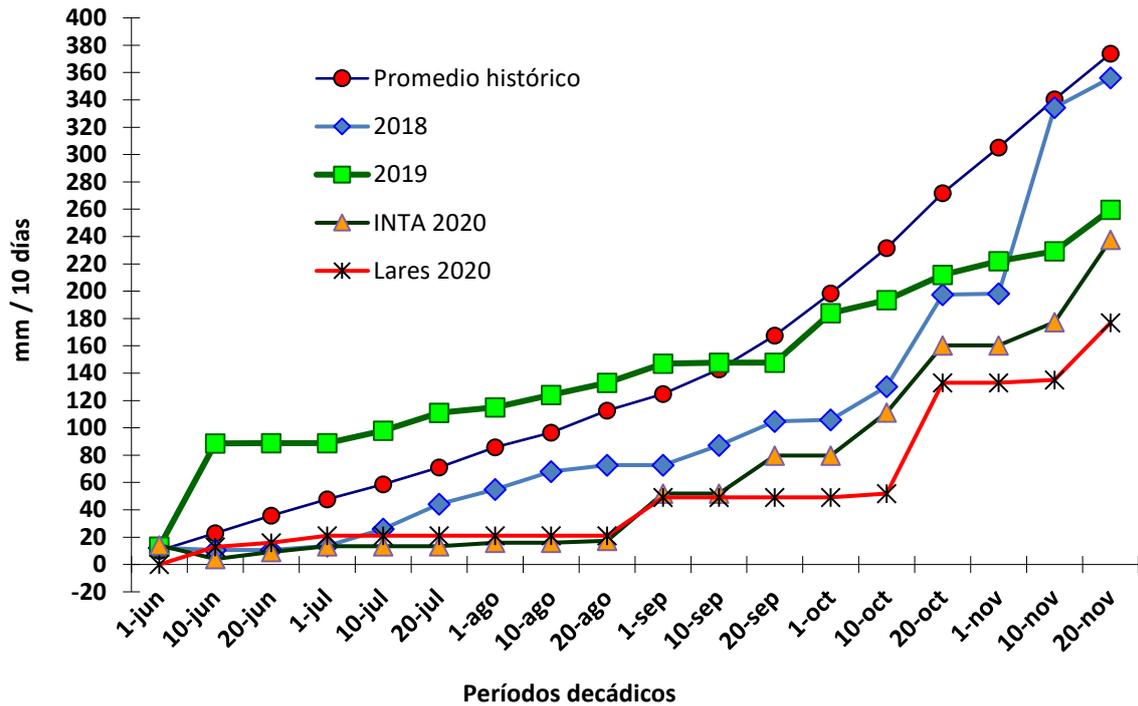


Figura 1: Precipitaciones decádicas del ciclo 2020, y su comparación con las dos campañas previas y la media histórica. Trigo, EEA Pergamino. Agua útil inicial (150 cm) 103 mm. Precipitaciones totales de junio a noviembre: INTA 233,7 mm, Lares 177 mm.

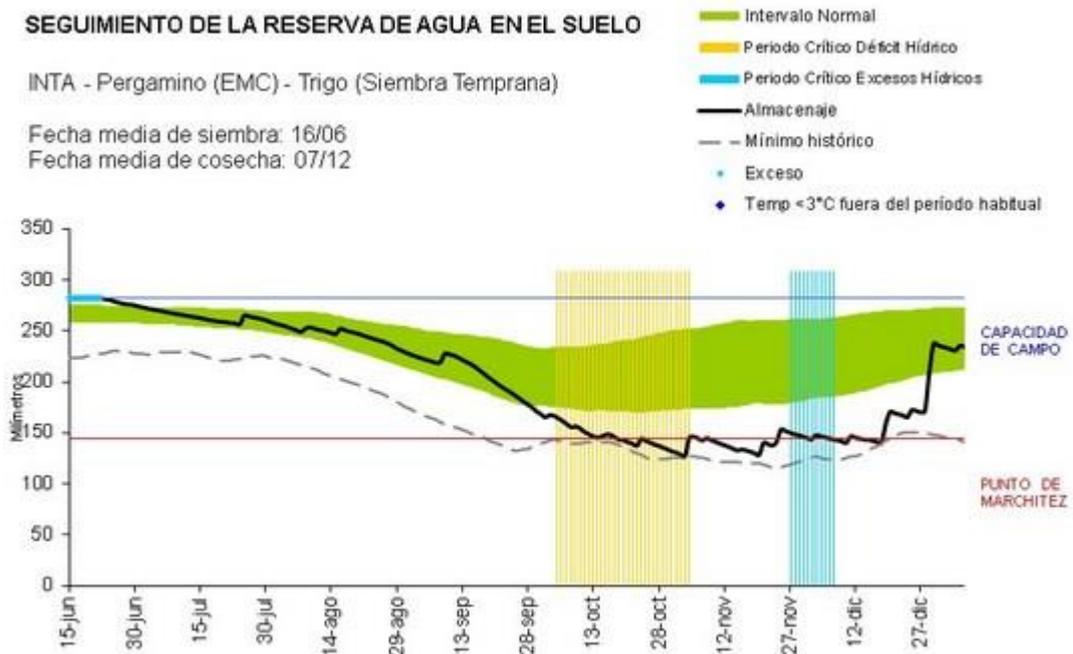


Figura 2: Evolución de la disponibilidad hídrica en el suelo en un cultivo de trigo durante la campaña 2020. Nótese el nivel de almacenaje por debajo del contenido ideal, y cercano al mínimo histórico y al punto de marchite permanente (PMP). Elaborado por la Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA) a partir de datos de la EEA Pergamino.

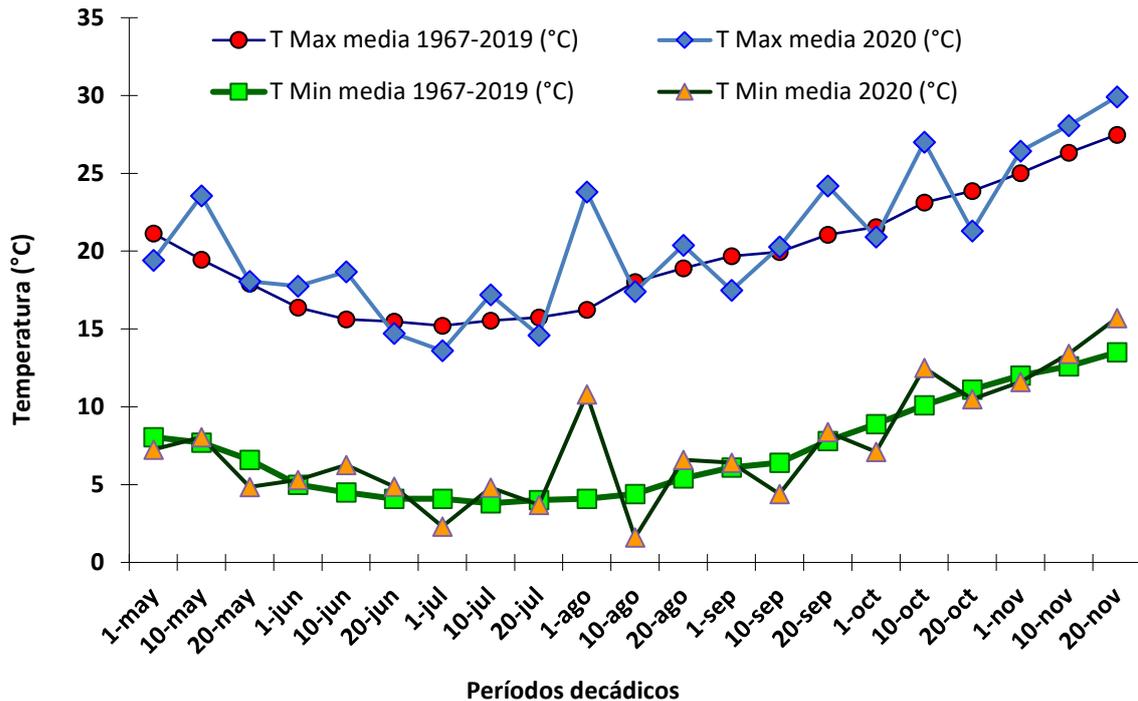


Figura 3: Temperaturas decádicas del ciclo 2020, comparadas al valor histórico 1967-2019. Los mínimos de julio (1ra década), agosto (2da década) y septiembre (3ra década) indican olas de frío con fuertes heladas. Datos de la EEA INTA Pergamino

b) Resultados de los experimentos.

El ciclo 2020 fue signado por la presencia de heladas muy fuertes, con baja humedad en suelo y aire que dañaron el canopeo del cultivo (Figura 3). El antecesor, nivel de cobertura, posición en el relieve y la fertilización fosforada recibida en línea afectaron el comportamiento. Asimismo, se registraron diferencias entre cultivares que impactaron en los rendimientos (Figura 4). Por el contrario, durante el mes de noviembre fueron superiores a la media anticipando la maduración (Figura 3).

En las Tablas 4 y 5 se presentan los rendimientos obtenidos en INTA Pergamino y el campo experimental de Lares SRL, considerando variedad y los diferentes niveles de intensificación. La producción obtenida abarcó un rango amplio, determinado por la variedad, su tolerancia a frío (Figura 1), capacidad para acumular biomasa post-heladas y la fertilización aplicada. El promedio del ensayo INTA fue de 5054 kg ha^{-1} , mientras que el del campo experimental Lares alcanzó a 3073 kg ha^{-1} . Las diferencias se explican a partir de las precipitaciones ($233 \text{ vs } 177 \text{ mm}$ junio-noviembre, Figura 1) y una posición más alta en el relieve en INTA, lo que constituiría una ventaja frente al efecto de las bajas temperaturas.

En INTA Pergamino se determinó efecto significativo de genotipo ($P < 0,01$), fertilización ($P < 0,01$) y ausencia de interacción genotipo x fertilización. De manera similar, en Lares se determinó efecto significativo de genotipo ($P < 0,01$), fertilización ($P < 0,05$) y ausencia de interacción estadística genotipo x fertilización. En el experimento conducido en INTA, la fertilización reforzada en postemergencia (T2), foliar en hoja bandera expandida (T3) y el tratamiento completo (T4) incrementaron los rendimientos con relación al tratamiento base (T1) en $887,9$, $934,2$ y $1212,4 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. Por su parte, en el ensayo localizado en Lares, el rendimiento aumentó para la misma condición en $326,7$, $240,3$ y $366,3 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. Se evidencia una considerable respuesta al incremento de dosis y al momento de aplicación.

La aplicación foliar en Zadoks 39 fue exitosa (T3), consiguiendo incrementos similares a la fertilización de macollaje (T2) con dosis sensiblemente menores. Esto evidencia las dificultades para la incorporación de nutrientes al suelo por la ausencia de lluvias, y las limitaciones del cultivo para la asimilación de N en un suelo con escasa humedad. La eficiencia agronómica media de uso de N ($\text{kg grano} : \text{kg N aplicado}^{-1}$) fue de $16,1$ para la aplicación en macollaje y $46,7$ para el tratamiento foliar, respectivamente, resultados propios de un año seco. Por su parte, en Lares dicha eficiencia fue de $5,9$ y $12,0$, respectivamente, derivadas de una carencia hídrica severa. Finalmente, los rendimientos máximos del T4 reflejarían en buena parte el efecto de P, muy limitado en ambos sitios.

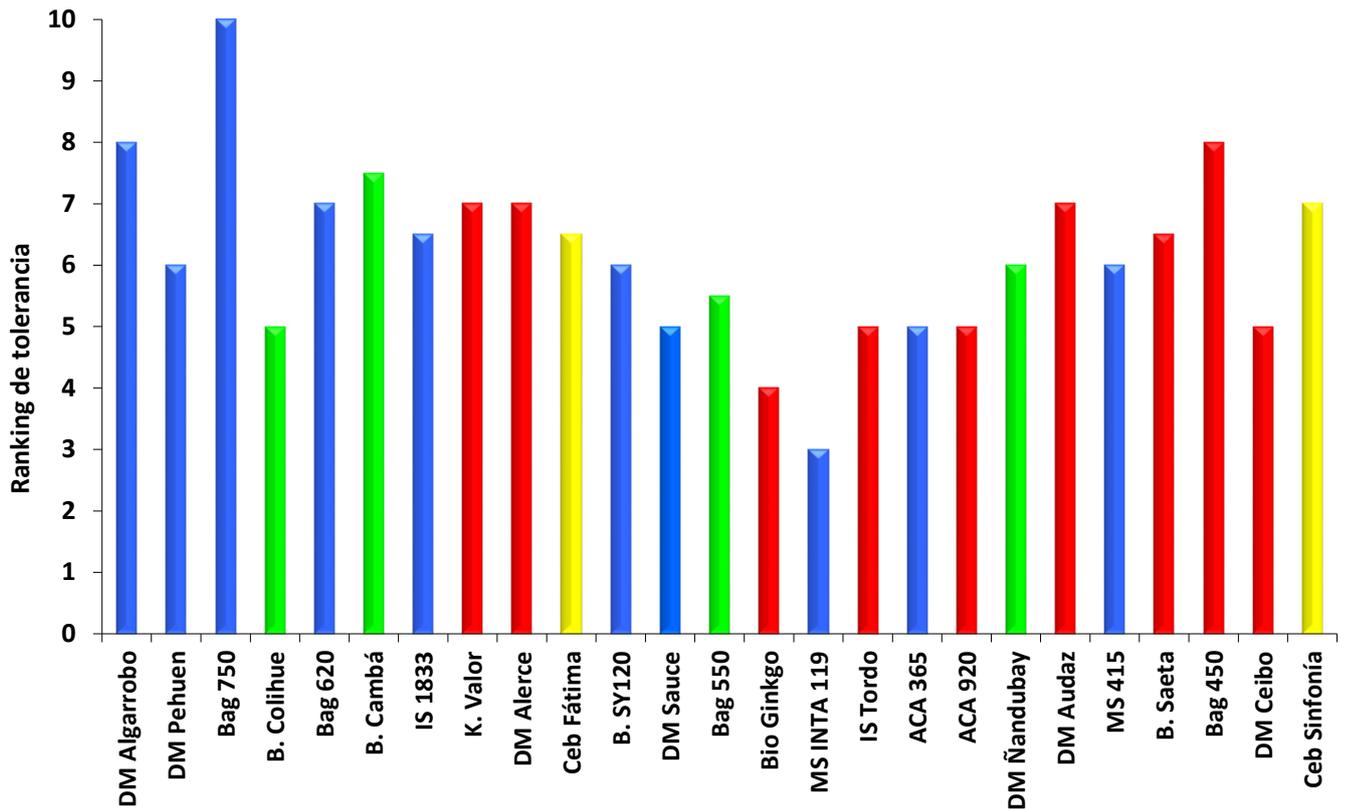


Figura 4: Tolerancia al frío según cultivar (1-10) donde 1 representa mayor susceptibilidad – 10 máxima tolerancia. Columnas azules: ciclos largos, columnas verdes: intermedios, columnas rojas: cortos, columnas amarillas: cebada cervecera.

En el sitio de INTA Pergamino, los rendimientos guardaron relación estrecha y directa con el contenido de clorofila determinados en Unidades Spad en hoja bandera expandida y la biomasa acumulada en antesis, siendo la función de mejor ajuste lineal (Figura 5) o cuadrática (Figura 6), respectivamente. El NDVI y la intercepción de radiación en antesis determinaron relaciones menos robustas. De acuerdo con las funciones ajustadas, fueron necesarios 3191 kgMS aérea total ha⁻¹ en antesis y 44 Unidades Spad en hoja bandera expandida para alcanzar un rendimiento de 5000 kg ha⁻¹ (Figuras 5 y 6). Los cultivares expresaron asimismo un importante rango de variación en la respuesta a la fertilización. Esta respuesta diferencial 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 tratamientos de fertilización. INTA Pergamino, campaña 2020/21.

	Rendimientos (kg ha ⁻¹)				Promedio Variedad
	T1	T2	T3	T4	
DM Algarrobo	5818	6197	6260	7628	6475,7
DM Pehuen	5730	6547	6805	6110	6298,0
Baguette 750	5876	6316	6184	6430	6201,3
B. Colihue	4733	6004	6996	6420	6038,1
Baguette 620	4314	6322	5779	6919	5833,5
B. Cambá	4910	6664	5670	5862	5776,3
IS 1833	4398	6054	5578	6560	5647,6
K. Valor	4650	6254	5609	6062	5643,6
DM Alerce	5206	4737	5392	6373	5427,1
Cebada ACA Fátima	5534	5047	4271	5405	5064,3
B. SY120	4878	5081	5041	5185	5046,2
DM Sauce	4060	5028	5521	5381	4997,4
Baguette 550	3966	4596	5190	5941	4923,3
Bio Ginkgo	4960	5387	3744	5374	4866,2
MS INTA 119	3879	4792	6084	4420	4793,7
IS Tordo	4753	3885	5238	5135	4752,7
ACA 365	3444	4907	5083	5474	4727,0
ACA 920	3614	4295	4951	5899	4689,6
DM Ñandubay	3317	5026	4382	5651	4593,9
DM Audaz	3702	5238	5421	3802	4540,7
MS 415	3034	4492	4111	5475	4278,0
B. Saeta	3712	4630	4040	3608	3997,6
Baguette 450	3054	4180	4012	4581	3956,6
DM Ceibo	2628	4038	5247	3656	3892,1
Cebada ACA Sinfonía	3212	3865	4131	4343	3887,8
Promedio fertilizante	4295,3	5183,2	5229,5	5507,7	

Tabla 5: Rendimiento de cultivares de trigo/cebada según tratamientos de fertilización. Campo experimental Lares, campaña 2020/21.

	Rendimientos (kg ha ⁻¹)				Promedio Variedad
	T1	T2	T3	T4	
DM Sauce	4173	4514	4930	4438	4513,8
DM Pehuen	3792	3818	4073	4126	3952,3
K. Favorito II	3638	3757	3899	4371	3916,3
DM Algarrobo	3546	3921	3722	4187	3844,0
B. Colihue	3872	4031	3580	3855	3834,5
IS 1833	3972	3880	3576	3660	3772,0
K. Géminis	3561	3822	3810	3785	3744,5
Baguette 620	3493	3784	3764	3531	3643,0
Lim. Arslak	2869	3163	3348	3789	3292,3
Bio. Gynko	2750	3524	2809	3076	3039,8
K. Valor	2266	2996	3057	3677	2999,0
IS Tordo	2596	2923	2961	2922	2850,5
IS Hornero	2579	2993	2727	2690	2747,3
DM Ñandubay	2169	2955	2589	3253	2741,5
DM Ceibo	2598	2889	2833	2561	2720,3
DM Alerce	2180	2674	2398	2950	2550,5
Baguette 550	2356	2638	2299	2767	2515,0
Cebada ACA Fátima	2804	2375	2888	1972	2509,8
K. Potro	2247	2682	2271	2604	2451,0
Cebada ACA Sinfonía	2006	2544	2666	2207	2355,8
DM Audaz	2261	2479	2042	2505	2321,8
B. Saeta	1902	2506	2564	2219	2297,8
Lim. Alazan	1680	1957	2031	2591	2064,8
Promedio fertilizante	2839,6	3166,3	3079,9	3205,9	

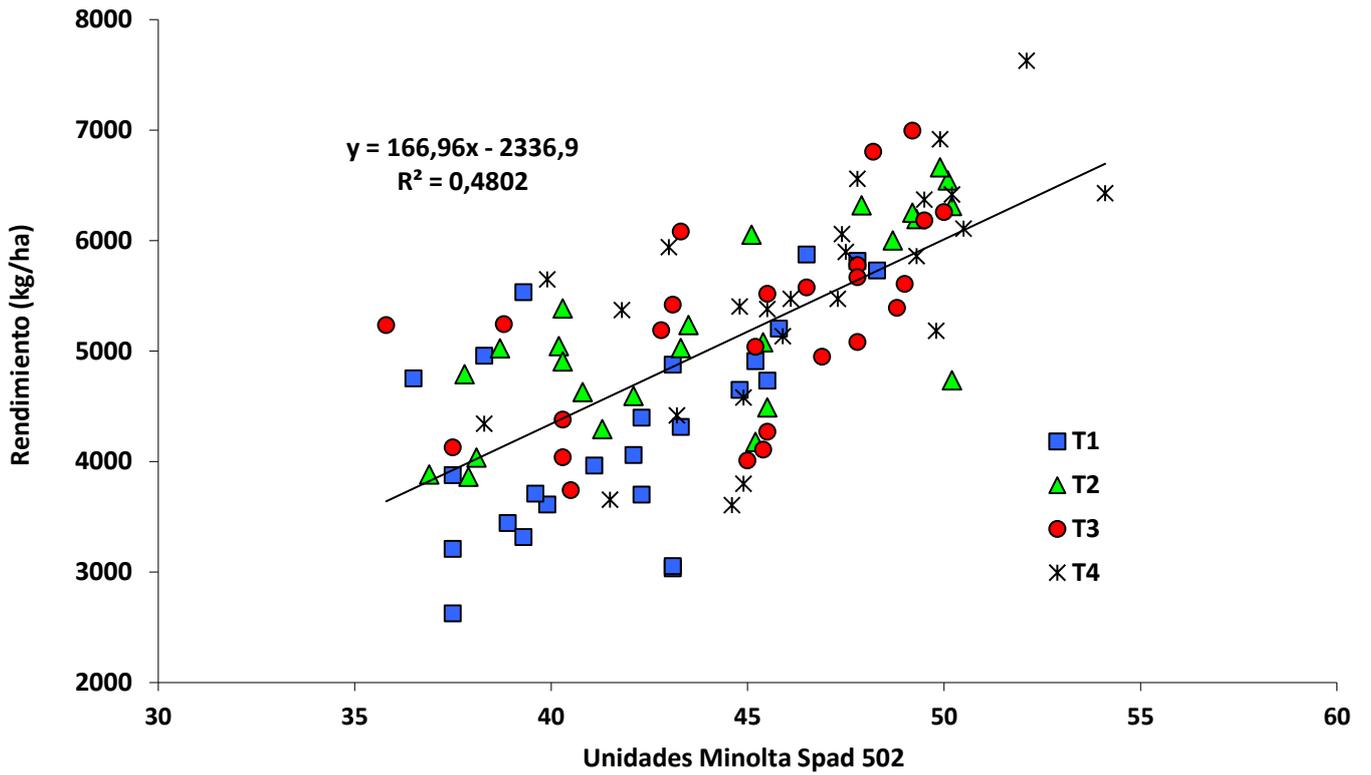


Figura 5: Relación entre rendimiento e intensidad verde en Unidades Spad, relevado en Zadoks 39. Los colores representan las estrategias de fertilización. Sitio INTA Pergamino.

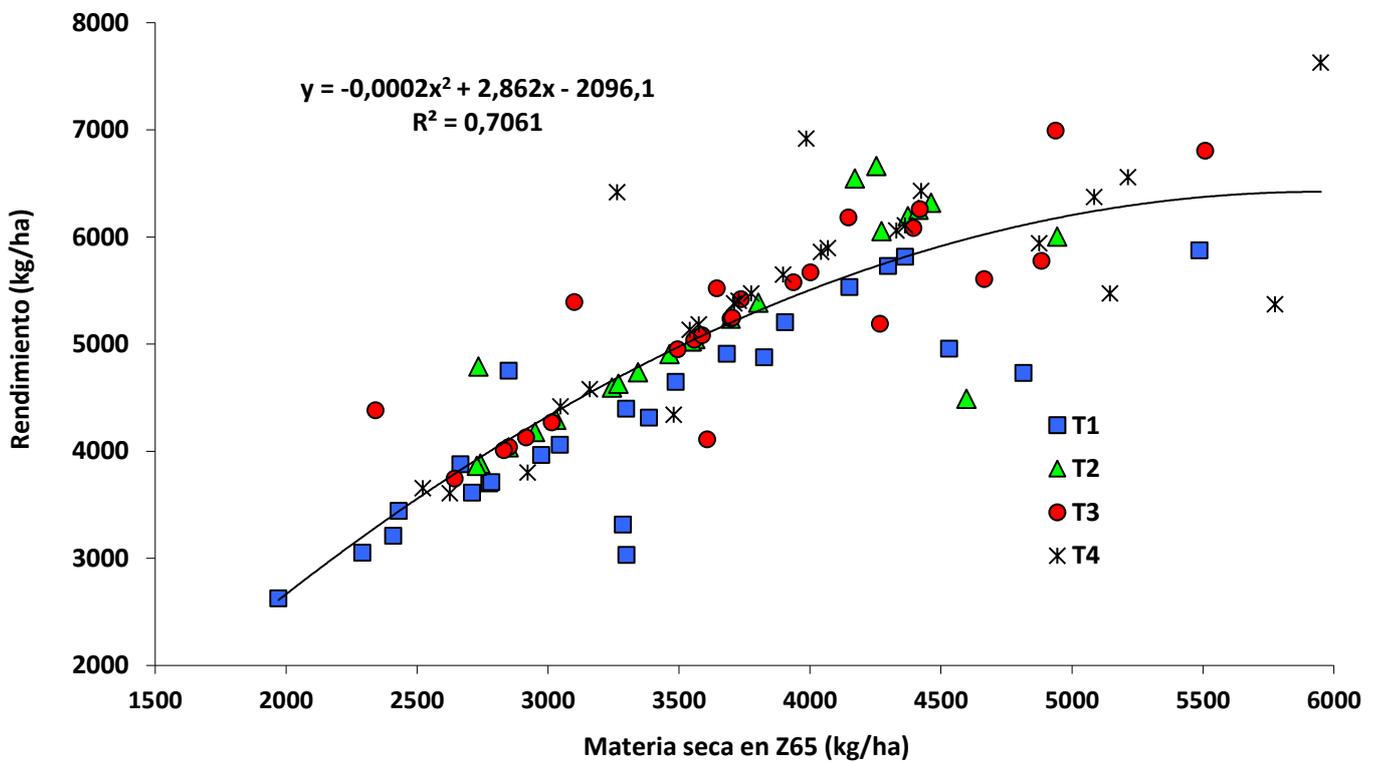


Figura 6: Relación entre rendimiento y materia seca aérea total en Zadoks 65. Los colores indican las estrategias de fertilización. Sitio INTA Pergamino.

CONCLUSIONES

Se determinaron rendimientos moderados en un ciclo con condiciones climáticas extremas, poco frecuentes en la región. La falta de precipitaciones y heladas alcanzaron singular intensidad. Los cultivares expresaron su potencial genético permitiendo una gran compensación a partir de las precipitaciones ocurridas desde finales de septiembre, recuperando su estado desde una muy pobre condición inicial.

Los sistemas actuales se muestran limitados en NP, y aun con deficiencias hídricas se determinó respuesta a la intensificación de la fertilización. Por la dificultad de incorporación y para la absorción en suelo seco, la aplicación foliar de N presentó una eficiencia muy superior respecto de la fertilización al suelo. Los tratamientos determinaron un rango muy amplio de variación en concentración de clorofila, extrapolable a N, y acumulación de materia seca. La capacidad de los cultivares para crecer y asimilar N bajo un ambiente adverso resultaría un factor clave, fuertemente asociado a su productividad.

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.
- * Gupta, V. K., Yadav, R. K., Agrawal, A. P., Parihar, R., Singh, N., Meshram, P., ... & Kumar, V. 2020. Genetic studies of parents and F1 on terminal heat tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) under late sown irrigated condition using Line X Tester design. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(5), 1194-1197.
- * Li, C., Xiangchi, Z., Chao, L., Wen, W., & Cheng, L. (2021). Ionomic and metabolic responses to drought stress in elite wheat seedlings under two phosphorus levels.
- * 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. 2021. Red oficial de ensayos territoriales de Trigo. INASE. Disponible on line: https://www.argentina.gob.ar/inase/red-de-ensayos-comparativos-de-variedades-de-trigo/campana-2020_21
- * Schmidt, J., Tricker, P. J., Eckermann, P., Kalambettu, P., Garcia, M., & Fleury, D. 2020. Novel alleles for combined drought and heat stress tolerance in wheat. *Frontiers in plant science*, 10, 1800.
- * Shew, A. M., Tack, J. B., Nalley, L. L., & Chaminuka, P. 2020. Yield reduction under climate warming varies among wheat cultivars in South Africa. *Nature communications*, 11(1), 1-9.
- * 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.
- * Zhang, X., Lu, W., Wang, X., Ma, B., Fu, K., Li, C., & Li, C. (2020). Comparative analysis of combined phosphorus and drought stress-responses in two winter wheat.
- * Zhao, Y., Li, J., Zhao, R., Xu, K., Xiao, Y., Zhang, S., ... & Yang, X. (2020). Genome-wide association study reveals the genetic basis of cold tolerance in wheat. *Molecular Breeding*, 40(4), 1-13.