

# VARIABILIDAD EN LA RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN EN CULTIVARES DE TRIGO Y CEBADA CERVECERA EN UN ESCENARIO DE DEFICIT HÍDRICO

## EEA INTA Pergamino – Campaña 2020/21

Ings Agrs Gustavo N. Ferraris<sup>(1)</sup>, Marcelo López<sup>(2)</sup>, Santiago Barberis<sup>(2)</sup>, Leandro Ortis<sup>(3)</sup>.

1. Manejo de cultivos INTA EEA Pergamino. Av Pte. Dr. Frondizi km 4,5 (B2700WAA) Pergamino 2.Lares SRL

3.Asociación de Cooperativas Argentinas SCL [ferraris@gustavo.inta.gob.ar](mailto:ferraris@gustavo.inta.gob.ar)

## 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.

Anualmente 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,  $\delta$  1,18). Todas las parcelas recibieron 20 kgS ha<sup>-1</sup> 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 <sup>-1</sup> (s)<br>UG 120 kg ha <sup>-1</sup> (s)                                    |
| ACA 920             | Illinois IS Hornero |                                                                                                          |
| Bioceres Gynko      | Illinois IS Tordo   | T2: SPT 100 kg ha <sup>-1</sup> (s)<br>UG 120 kg ha <sup>-1</sup> (s)<br>UG 120 kg ha <sup>-1</sup> (m)  |
| Buck SY 120         | Klein Favorito II   |                                                                                                          |
| Buck Colihue        | Klein Géminis       | T3: SPT 100 kg ha <sup>-1</sup> (s)<br>UG 120 kg ha <sup>-1</sup> (s)<br>F20N 90 l ha <sup>-1</sup> (hb) |
| Buck Cambá          | Klein Potro         |                                                                                                          |
| Buck Saeta          | Klein Valor         |                                                                                                          |
| Don Mario Algarrobo | Limagrain Arslack   | T4: SPT 200 kg ha <sup>-1</sup> (s)<br>UG 120 kg ha <sup>-1</sup> (s)                                    |
| Don Mario Pehuen    | Limagrain Alazan    |                                                                                                          |

|                    |                     |                                                                   |
|--------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Don Mario Sauce    | Macroseed MS 119    | UG 120 kg ha <sup>-1</sup> (m)<br>F20N 90 l ha <sup>-1</sup> (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

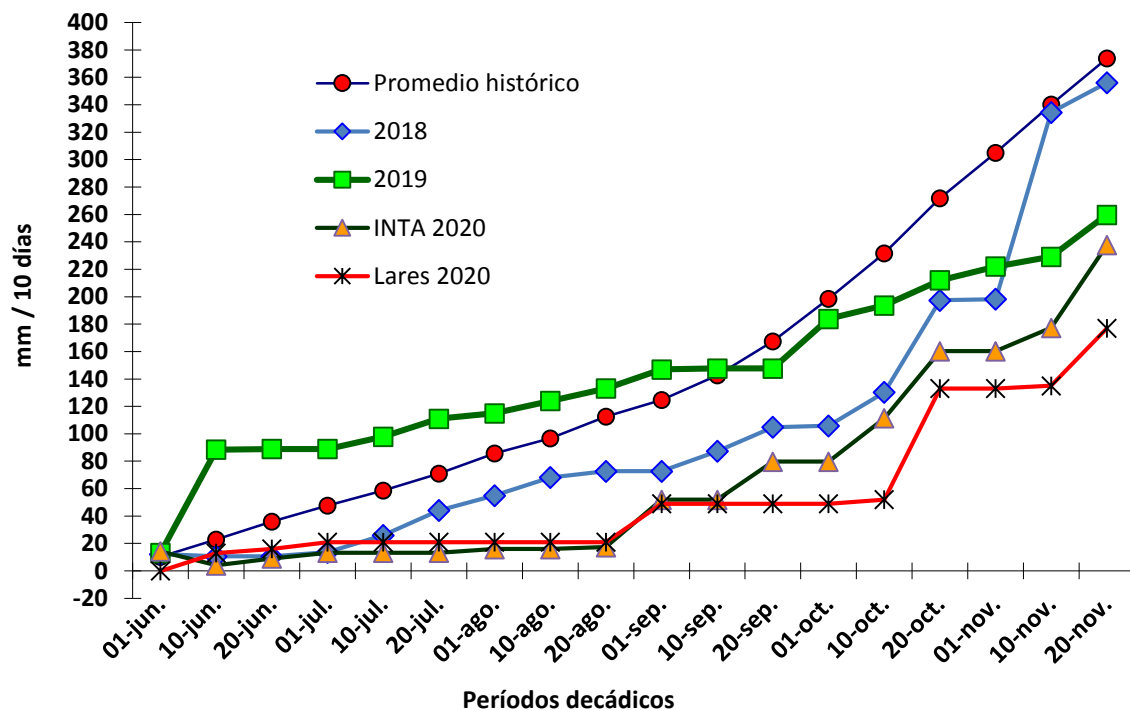
| Profundidad                       | pH         | Materia Orgánica | P-disp. | N-Nitratos 0-20 cm | N-Nitratos suelo 0-60 cm | S-Sulfatos suelo 0-20 cm | Zn   |
|-----------------------------------|------------|------------------|---------|--------------------|--------------------------|--------------------------|------|
| cm                                | agua 1:2,5 | %                | ppm     | ppm                | kg ha <sup>-1</sup>      | 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 cultivos 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, interceptación de radiación y NDVI por Green seeker en Zadoks 65. La cosecha se realizó en forma mecánica, mediante una cosechadora experimental de parcelas.

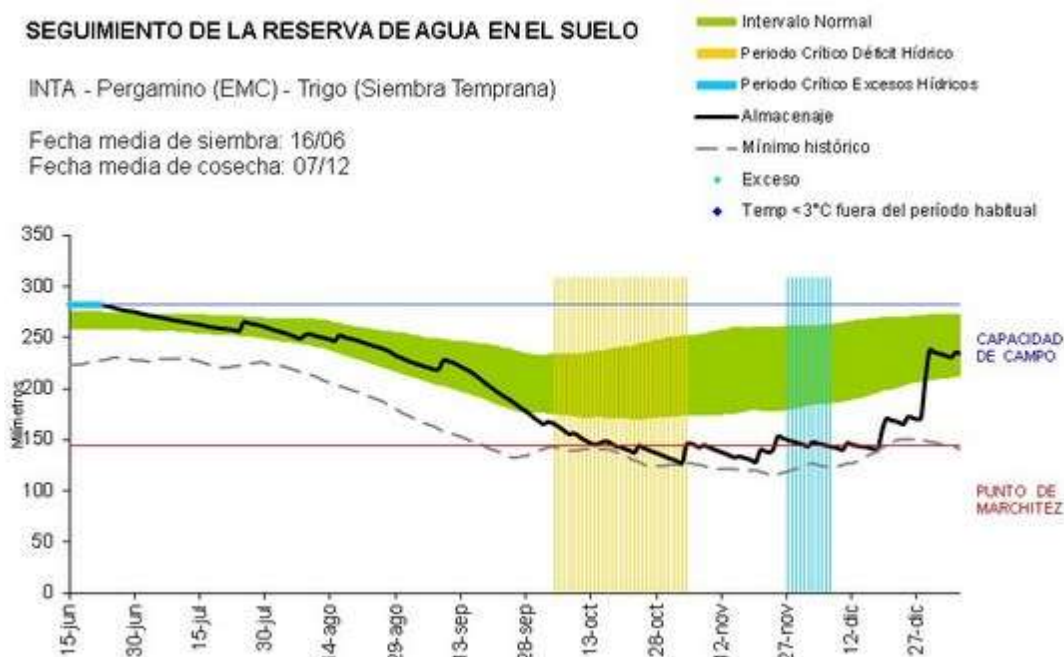
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### a) Condiciones ambientales de la campaña

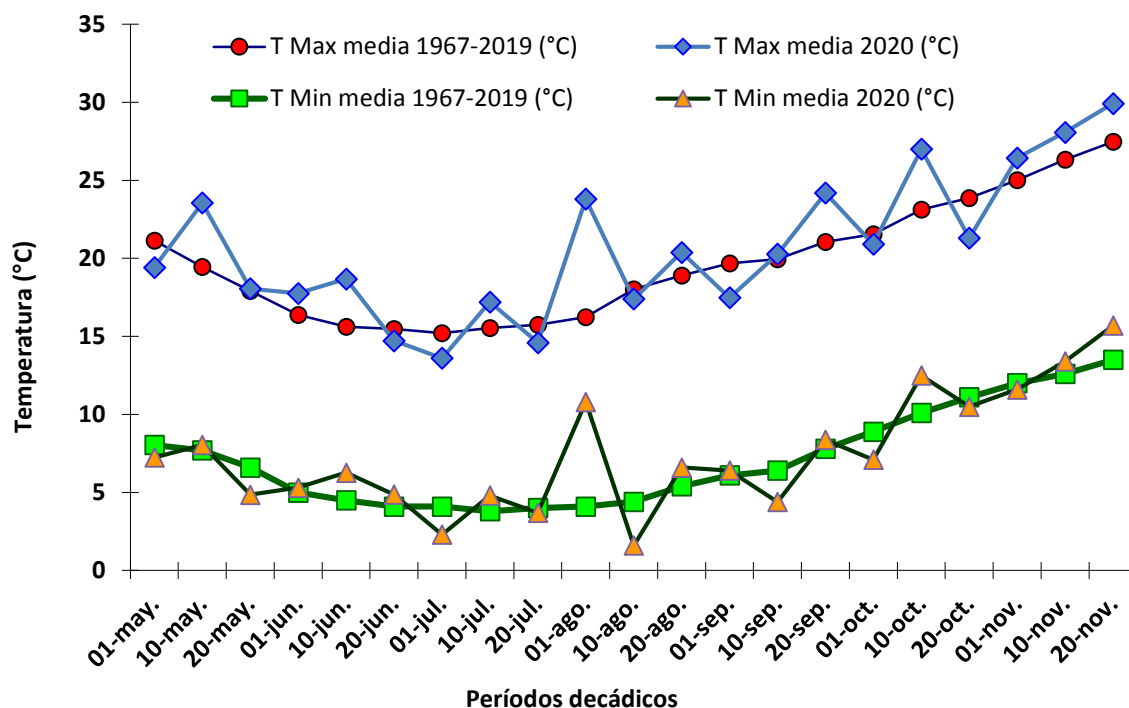
El trigo transitó un invierno con escasas precipitaciones, las cuales fueron prácticamente nulas hasta finales de Agosto, sumando a cosecha 136,2 mm por debajo de la media. Estos valores son aun inferiores a la campaña 2019, también seca (Figura 1). Las reservas de agua en el suelo se mantuvieron entre 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 marchitez 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

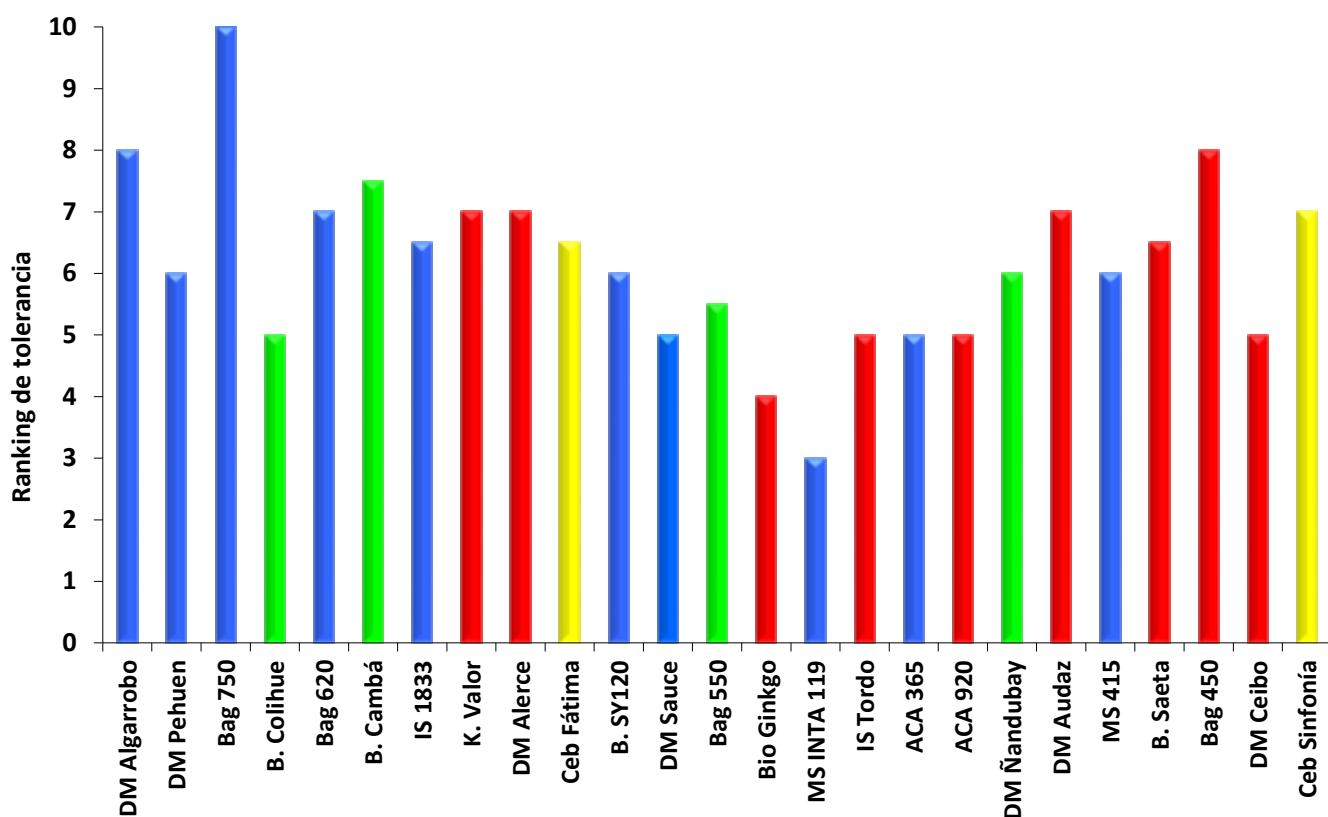
## b) Resultados de los experimentos.

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<sup>-1</sup>, mientras que el del campo experimental Lares alcanzó a 3073 kg ha<sup>-1</sup>. Las diferencias se explican a partir de las precipitaciones (233 vs 177 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 kg ha<sup>-1</sup>, 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 kg ha<sup>-1</sup>, 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 (kg grano : kg N aplicado<sup>-1</sup>) 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 cervicera.

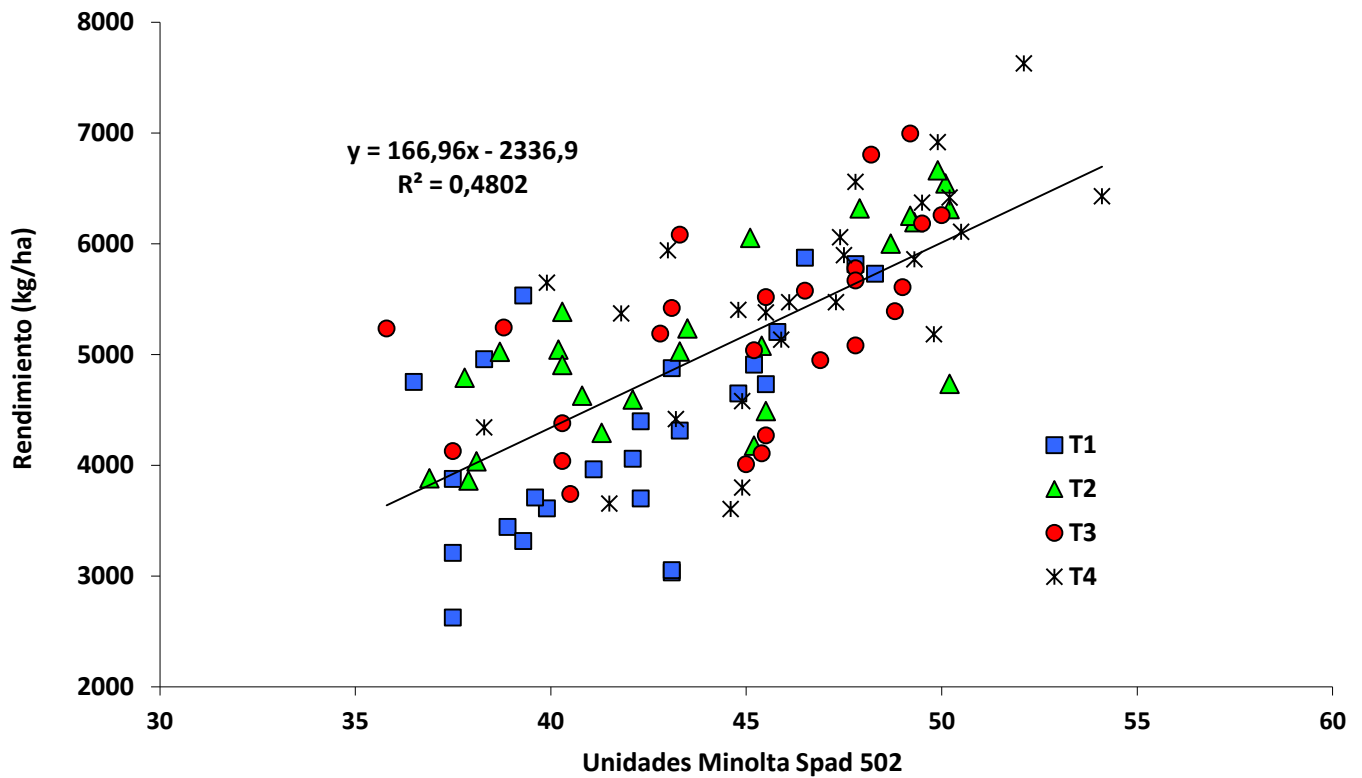
En el sitio de INTA Pergamino, los rendimientos guardaron relación estrecha y directa con el contenido de clorofila determinados en Unidades Spad en hoja bandera expandida y la biomasa acumulada en antesis, siendo la función de mejor ajuste lineal (Figura 5) o cuadrática (Figura 6), respectivamente. 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<sup>-1</sup> en antesis y 44 Unidades Spad en hoja bandera expandida para alcanzar un rendimiento de 5000 kg ha<sup>-1</sup> (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.

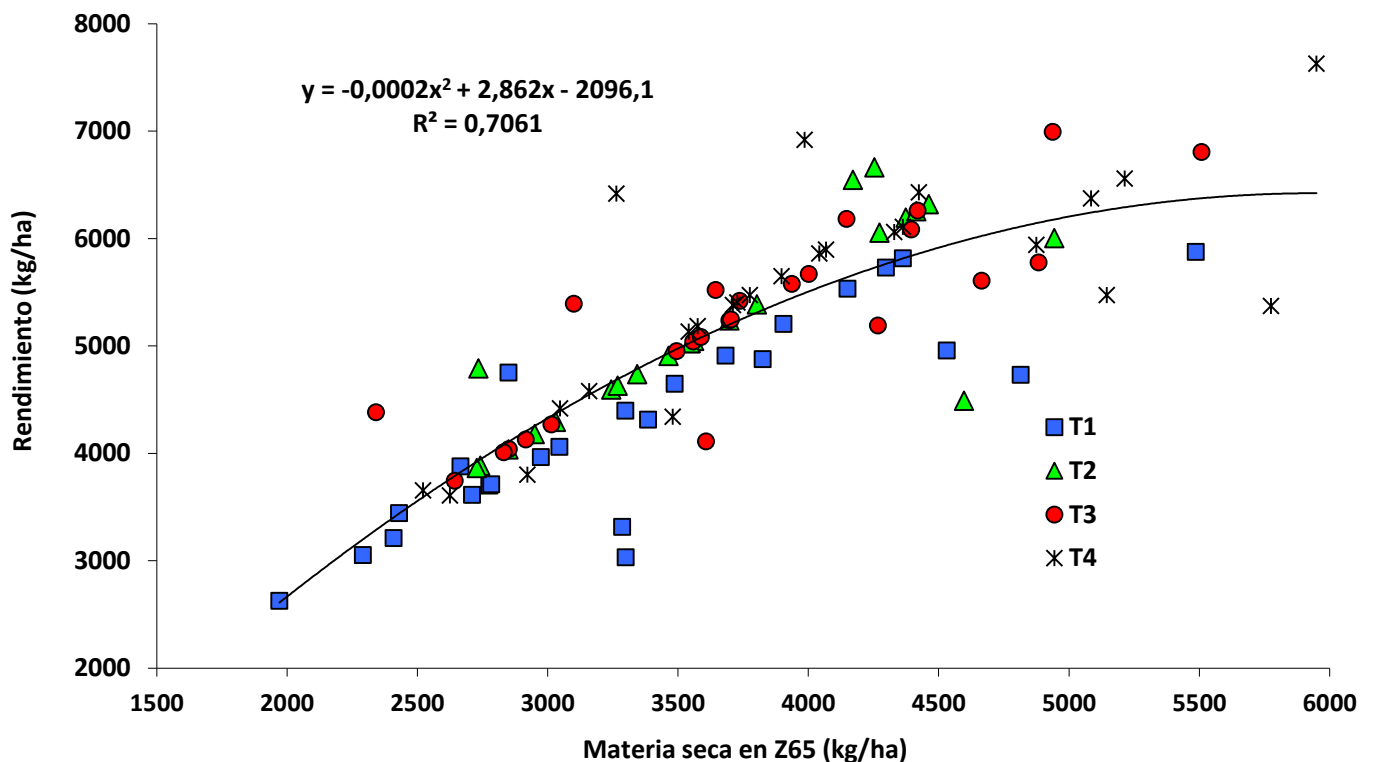
|                       | Rendimientos (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |        |        | Promedio Variedad |
|-----------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|-------------------|
|                       | T1                                  | T2     | T3     | 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 <sup>-1</sup> ) |        |        |        | 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 cervecera. *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](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.