

Ajuste de la población por cultivar en cereales de invierno

27 años del programa de caracterización de cultivares de trigo y cebada

Foto: Ariel Castro.

Nicolás Fassana¹, Felipe Ganem²

1) Ing. Agr. (Mag) Asistente del Dpto. Producción Vegetal – Ecofisiología y manejo de cultivos (fassana@fagro.edu.uy)

2) Bach. Tesista del Dpto. Producción Vegetal – Ecofisiología y manejo de cultivos

El rendimiento de cereales de invierno (Trigo y Cebada) presenta una tasa de incremento promedio en torno a 51 kg ha⁻¹ año⁻¹ (2,7% anual), en los últimos 30 años en Uruguay (www.fao.org/foastat). Sin embargo, el resultado productivo presenta un margen bruto reducido, por la relación de precios y por desajustes en las tecnologías de producción.

Hace casi 30 años, Hoffman (1995) afirmó: “...el manejo de las poblaciones en forma diferencial, para cultivos y ambientes que son distintos, como en casi todo el mundo, es hoy una variable con capacidad de modificar los actuales márgenes agrícolas”. En esos años la densidad de plantas objetivo era de 300 pl. m⁻². Sin embargo, el resumen de la revisión bibliográfica de trabajos nacionales presentada en el trabajo, demostró que el rango de población a la cual se maximizaba el rendimiento en grano era de 150 a 200 pl. m⁻² (inferior a la densidad objetivo utilizada en ese momento) y dependía de la capacidad de macollaje del

material genético.

El incremento en el rendimiento alcanzable, dado por el progreso genético, los cambios en el sistema de producción y el surgimiento de nuevas tecnologías, generan nuevamente la pregunta sobre si la población óptima objetivo continúa siendo la recomendada hace 30 años. Como toda tecnología de producción, es necesario ajustarla periódicamente.

1- AJUSTE DE LA POBLACIÓN ÓPTIMA A NIVEL DE ESPECIE

La población objetivo se ha determinado en términos generales a nivel de especie (Trigo o Cebada). Los antecedentes indican que la población que maximiza el rendimiento a nivel de especie se encuentra en torno a las 200 pl. m⁻² (35-40 pl. m⁻¹), (Hoffman, 1995; Miralles *et al.*, 2014). García (2017), plantea que la población objetivo depende del largo de ciclo, la fecha de siembra y la capacidad macolladora del trigo, y propone tres rangos de poblaciones objetivo en función del largo de ciclo: 180 pl. m⁻², 200 pl. m⁻² y 225 pl. m⁻² para ciclo largo, intermedio y corto respectivamente.

El procesamiento mediante regresión cuantílica de



Parcelas del programa de caracterización de cultivares. Foto: Nicolás Fassana.

la base de datos histórica (2003-2022) del Programa de caracterización de cultivares de trigo y cebada que se realiza en la EEMAC para ciclos intermedios, indica que la población óptima se ubica entre 40 y 55 pl. m⁻¹, a una distancia entre hileras de 17 cm o, equivalente a 35 y 50 pl. m⁻¹ a distancia entre hileras de 15 cm, lo que equivale a 240 y 330 pl. m⁻² (Fig. 1). Por tanto, para cultivares de trigo y cebada de ciclos intermedios, sembrados a principios de junio y bajo regímenes térmicos e hídricos como los del litoral centro-norte, la población óptima en la actualidad, es mayor a las 200 pl. m⁻² reportadas en 1995 y 2017 para ciclos intermedios.

Este incremento en la población óptima a nivel de especie, podría estar dado por una menor competencia por luz durante el macollaje. En el pasado, los cultivares de trigo y cebada presentaban un rápido crecimiento juvenil (Hoffman *et al.*, 1992), lo que definía una mejor relación de competencia por recursos entre tallos a densidades más bajas. Este nivel de competencia estaba caracterizado

como acumulación de biomasa a Z30. Los cambios en la curva de acumulación de biomasa aérea introducidos por el mejoramiento genético, redujeron la tasa de crecimiento inicial por planta, lo que probablemente explique el cambio en la población óptima.

La bibliografía a nivel mundial, hace referencia a poblaciones óptimas a nivel de especie. Sin embargo, Hoffman *et al.* (2009) proponen que el ajuste de la población objetivo debe realizarse a nivel de cultivar. La afirmación se sustenta en las diferencias cuantificadas entre cultivares en la tasa de crecimiento inicial, definida por el crecimiento por planta y días a inicio de macollaje, la capacidad de macollaje y la fertilidad de tallos asociada.

2- AJUSTE DE LA POBLACIÓN A NIVEL DE CULTIVAR

Considerando que los cultivares construyen el rendimiento por diferentes combinaciones de los componentes numéricos que lo definen (No. de granos m⁻² y peso de granos), la población objetivo debería definirse contemplando esta característica diferencial entre cultivares y no por especie. En base a esta idea, la pregunta a responder es si este manejo diferencial se justifica por su efecto en el rendimiento en grano y su calidad, y por tanto en el margen bruto. La figura 2 es un ejemplo que muestra el cambio en el rendimiento en respuesta a la población lograda para diferentes cultivares de trigo y cebada.

Los ejemplos demuestran la necesidad de ajustar esta variable de manejo para cada cultivar, reduciendo las ineficiencias generadas por considerar una población óptima a nivel de especie.

Trabajos recientes indican que la respuesta a la población en cereales de invierno está anidada a la interacción del genotipo con el ambiente (Bastos *et al.*, 2020). Por lo

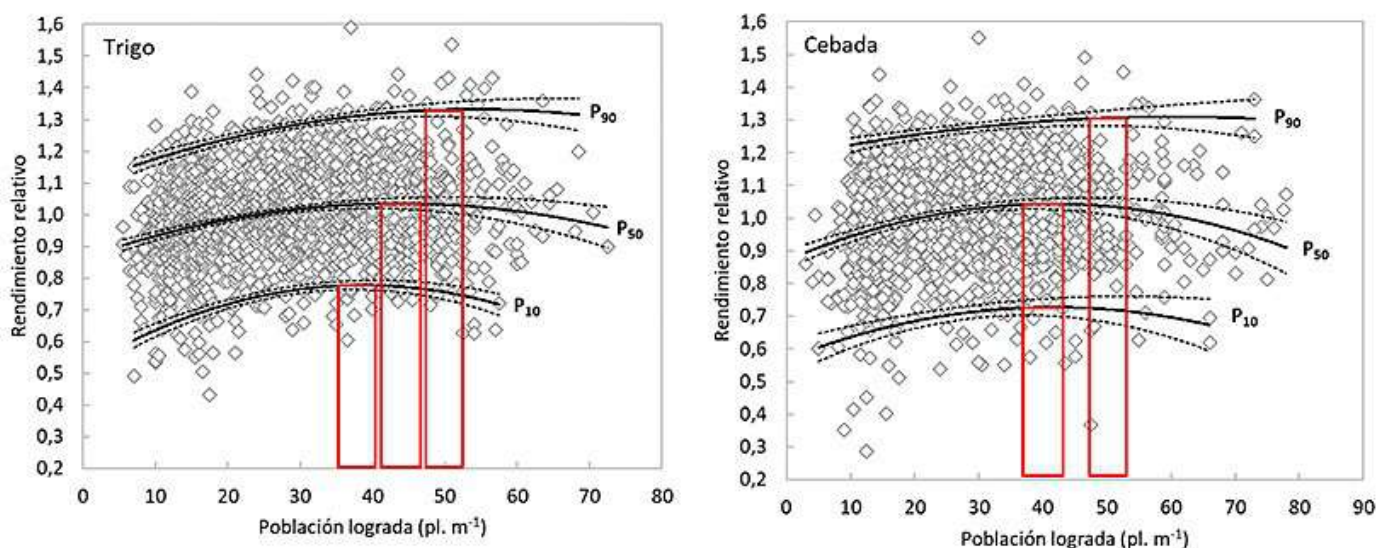


Figura 1. Rendimiento relativo de trigo y cebada en función de la población lograda durante 20 zafas consecutivas en trigo (2003-2022) y 18 en cebada (2005-2022). Programa de caracterización de cultivares de trigo y cebada - Fagro/EEMAC. Rend. Relativo: a la media de cada zafa. P10: percentil 10; P50: Percentil 50; P90: Percentil 90. Población: plantas por metro lineal con 15 cm de distancia entre hilera.

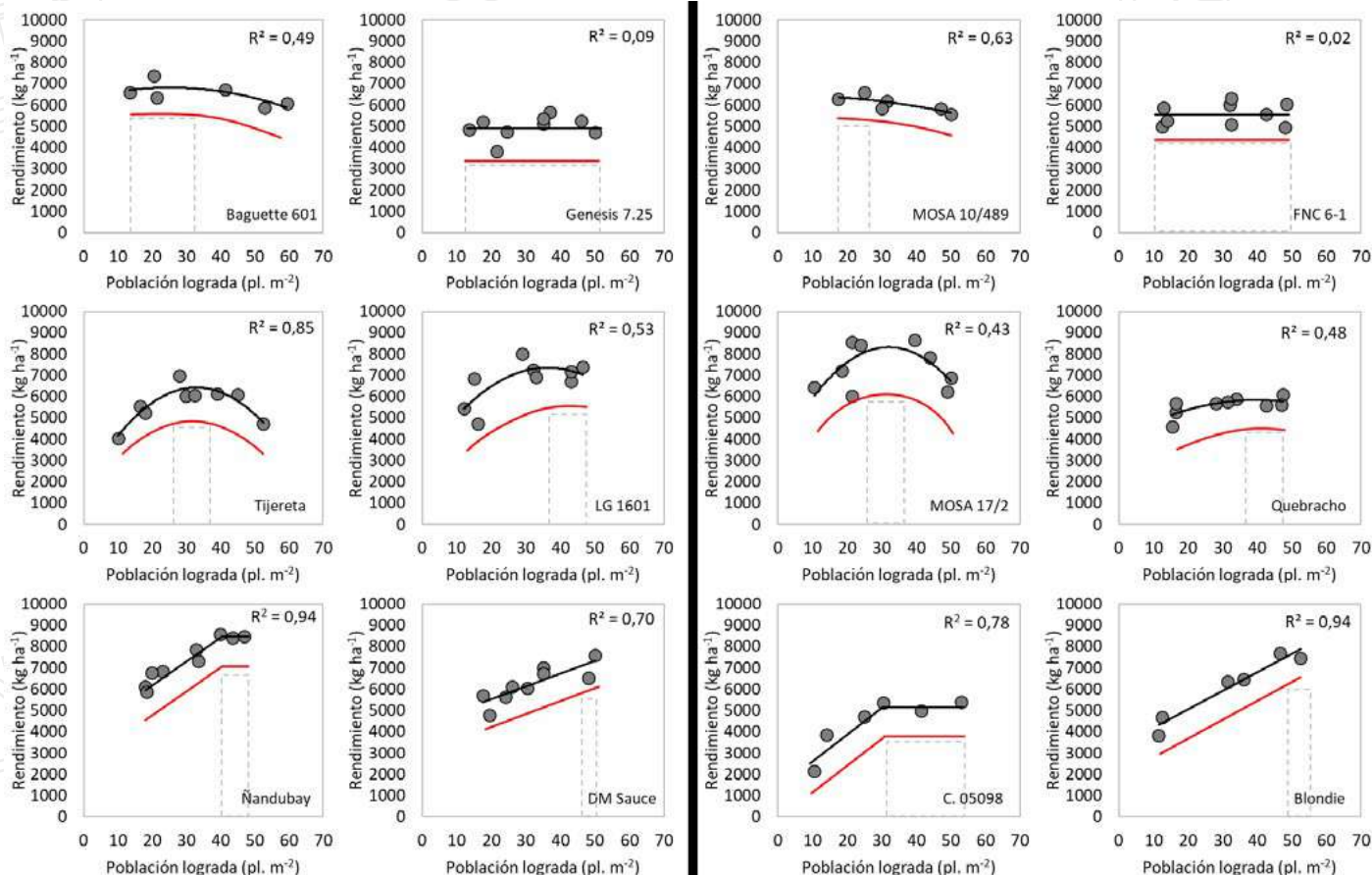


Figura 2. Ejemplos de cambios en el rendimiento en respuesta a la población a nivel de variedad en trigo (izquierda) y cebada (derecha). Recuadros punteados indican el rango óptimo. Programa de caracterización de cultivares de trigo y cebada - Fagro/EEMAC.

tanto, definir la población óptima de un cultivar es más desafiante que seguir una serie de pasos de una receta. Esto jerarquiza la función del agrónomo en su capacidad de gerenciar el conocimiento y aplicarlo a las particularidades de cada situación productiva. Tiene implícito qué tan compleja es la receta y qué tan variables los resultados que obtendremos.

3- DE LO SIMPLE O GENERAL (ESPECIE) A LO COMPLEJO O ESPECÍFICO (CULTIVAR)

Contemplando el comportamiento ecofisiológico de los componentes de rendimiento en cereales de invierno; la capacidad de macollaje del cultivar y la tasa de cambio ante incrementos en la población (Fig. 3), han sido sugeridas como las variables a considerar para definir la población óptima (Valerio *et al.*, 2009). Cultivares con mayor capacidad de macollaje, definida como número de macollos por planta emitidos a Z30 (Cultivar A- Fig. 3) tienden a lograr el rendimiento máximo a menor población que aquellos con

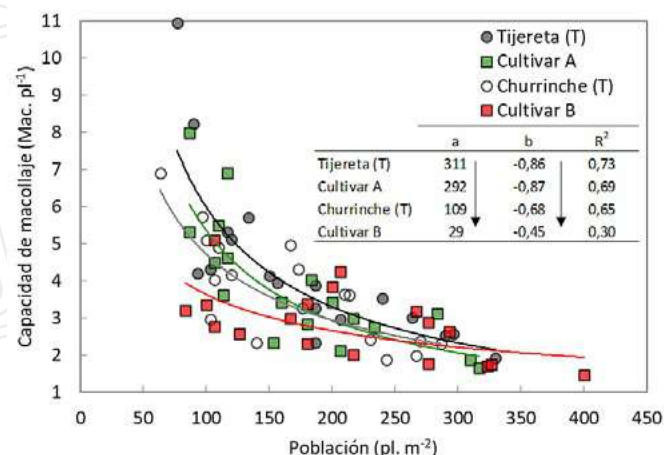


Figura 3. Capacidad de macollaje para variedades de comportamiento conocido (T -testigos) y contrastantes (Variedad A- Variedad B), en función de la población. Programa de caracterización de cultivares de trigo 2021 y 2022 - Fagro/EEMAC.



Espigazón en material sincronizado (derecha) y desincronizado (izquierda). Foto: Nicolás Fassana.

menor capacidad de macollaje (Cultivar B - Fig. 3).

El paso adicional debería considerar que, para una misma población, la capacidad de macollaje de un cultivar no es estática, sino que se ve afectada por la temperatura durante el período de macollaje (Hoffman *et al.*, 2009). Este efecto que produce la temperatura, se conoce como sincronía del macollaje.

4- SINCRONÍA DEL MACOLLAJE EN TRIGO

El concepto de sincronía hace referencia a la edad del macollo No. 2 (T2) en relación al tallo principal (Tp), medido en días (Hoffman *et al.*, 2009). Los materiales sincronizados (en relación a desincronizados) comienzan a macollar antes (en torno a las 3,5 a 4 hojas en el Tp) y presentan menor diferencia en días entre macollos y el Tp. Los desincronizados, además, generalmente presentan una mayor proporción de plantas que no macollan y/o plantas sin T1 (Cuadro 1). El nivel de sincronía de los materiales es relevante, ya que una mayor diferencia en la edad de los



Parcelas del programa de caracterización de cultivares. Foto: Ariel Castro.

macollos con relación al Tp, genera una menor capacidad de competencia por recursos por parte de los macollos (mayor dominancia del Tp). Esta característica se expresa en mayor magnitud en años con mayores temperaturas (por sobre la media) durante el período de macollaje.

Este retraso en la aparición de macollos en una misma planta se debería a que, en la medida en la que se desarrolla la planta, la posición que ocupan en la planta, impacta negativamente en el flujo vascular, lo que reduce la llegada de asimilados a los mismos (McCall, 1934; Fletcher y Dale, 1974). Por lo tanto, cultivares que logran mantener una mejor distribución de asimilados hacia los macollos secundarios, son más sincronizados.

Frank y Bauer (1982) aseguran que la reducción en la fertilidad de los tallos en respuesta al incremento en la competencia por recursos resulta de que la planta tiende a priorizar la sobrevivencia de los macollos principales con mayor crecimiento y desarrollo. Por tanto, cuanto menor sea la sincronía, la competencia entre macollos tiende a desfavorecer a los macollos secundarios con menor crecimiento y desarrollo. Además, la temperatura influye en la capacidad de macollaje del cultivar. En años cálidos, se espera un incremento en la proporción de plantas sin macollos o sin T1, a la vez que las plantas tienden a atrasar fenológicamente el inicio de macollaje. Esta característica reduce la fertilidad de tallos y No. de granos por espigas secundarias (Hoffman *et al.*, 2007).

Cultivar	Inicio macollaje (dpe)	Inicio macollaje (Escala Haun en Tp)	Sincronización (Días Tp-T2)	Plantas sin macollos	Plantas sin T1
Temperatura cálida durante el macollaje					
Tijereta (T)	35	4,4	35	40 %	100 %
Churrinche (T)	35	5,1	Sin T2	90 %	100 %
Cultivar A	21	4,3	21	0 %	33 %
Cultivar B	32	6,0	Sin T2	80 %	100 %
Temperatura normal durante el macollaje					
Tijereta (T)	22	3,3	27	0 %	0 %
Churrinche (T)	27	4,3	27	0 %	40 %
Cultivar A	24	4,1	25	0 %	70 %
Cultivar B	35	5,1	34	0 %	100 %

Cuadro 1. Desarrollo inicial en invernadero para cultivares de comportamiento conocido (T - testigos) y contrastantes (Cultivar A=sincronizado; Cultivar B=desincronizada). Dpe – Días pos emergencia. Programa de caracterización de cultivares de trigo 2021 y 2022 - Fagro/EEMAC.

Cultivar	Plantas logradas (Nº/m lineal)	Plantas (Nº m ⁻²)	Macollos Z 30 (Nº mac. m ⁻²)	Fertilidad (%)	Esp. m ⁻²	Granos Esp. ⁻¹	Granos m ⁻²	PG (mg)	Rendimiento kg ha
Temperatura cálida durante el macollaje (12,8°C)									
Sincronizado	15	100	435	80	347	54	18778	40,5	7596
	26	173	449	79	350	55	19284	39,4	7576
	43	287	583	66	377	58	21516	38,2	8227
Desincronizado	16	103	310	84	259	81	20657	38,6	7955
	28	188	450	63	284	66	18818	40,1	7518
	53	350	571	57	323	61	19614	40,3	7912
Temperatura normal durante el macollaje (10,9°C)									
Sincronizado	17	111	566	78	440	37	16156	38,7	6244
	30	201	593	69	404	47	18835	37,6	7089
	45	298	689	74	506	40	20142	39,0	7803
Desincronizado	15	102	330	86	280	58	16044	42,5	6822
	31	206	528	73	373	46	16544	41,9	6939
	38	251	540	78	416	39	16308	42,8	6988

Cuadro 2. Componentes numéricos del rendimiento en respuesta al cambio en la población lograda para cultivares de comportamiento contrastantes (sincronizado/desincronizado) a campo en año con temperatura cálida (12.8°C) y normal (10.9°C) durante el macollaje. Programa de caracterización de cultivares de trigo 2021 y 2022 - Fagro/EEMAC.

5- IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES NUMÉRICOS DEL RENDIMIENTO

El impacto en los componentes numéricos de rendimiento por efecto del cambio en la población se observa en el Cuadro 2. Los resultados van en contra del concepto discutido anteriormente, por el efecto compensatorio entre componentes (Figura 3). El cultivar B parece afectarse por el incremento de la población, y ese efecto es de mayor relevancia en años con temperatura cálida durante la etapa de macollaje. Este tipo de resultado está vinculado al nivel de sincronía entre los macollos de una misma planta.

Al igual que fue reportado por Tompinks *et al.* (1991) y Naveed *et al.* (2014), se obtuvo un mayor número de espigas por incrementar la población objetivo. Sin embargo, el incremento se ve reducido en años cálidos durante la etapa

de macollaje, dado por el efecto negativo de la temperatura en la fertilidad de tallos en la medida que se incrementa la población (Cuadro 2). Esta propiedad se amplifica en cultivares desincronizados.

Condiciones térmicas cálidas o días con elevada temperatura máxima durante el período de macollaje, afectan la estructura de los componentes numéricos de rendimiento, independientemente del material genético, pero el efecto aparentemente es más agravado en materiales desincronizados. Por tanto, el nivel de competencia por recursos a nivel de planta que definimos mediante la población objetivo, es un factor de producción interesante de gestionar para maximizar el uso de los recursos, y por tanto el retorno.

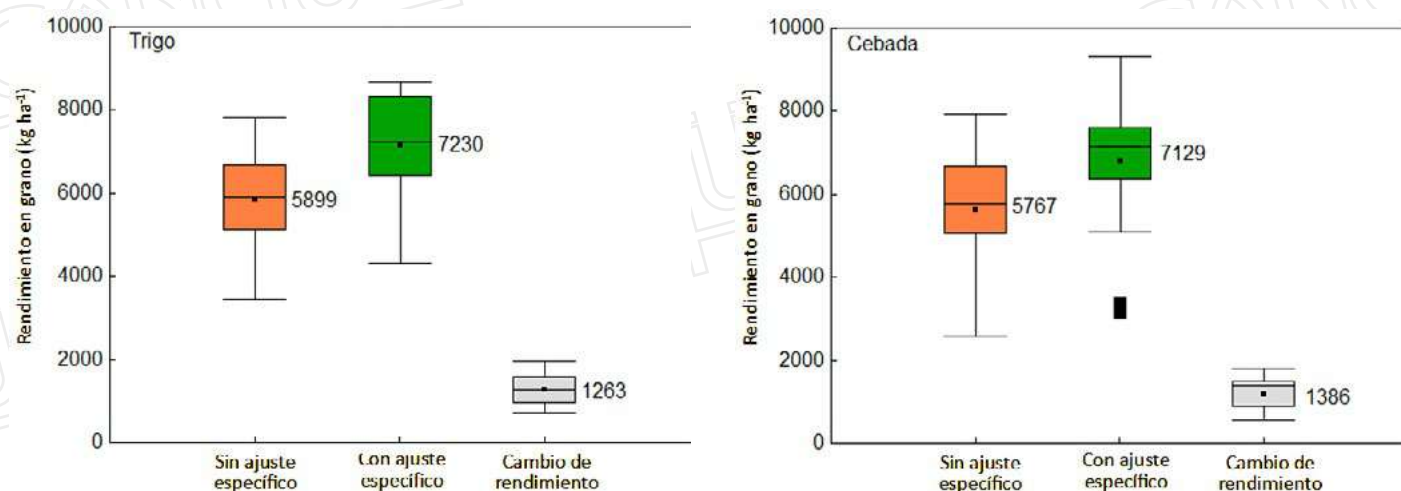


Figura 4. Incremento de rendimiento por ajuste de la población en cultivares con respuesta positiva y negativa. 22 variedades de trigo (izquierda) y 18 variedades de cebada (derecha). Programa de caracterización de cultivares de trigo y cebada 2010 a 2022 - Fagro/EEMAC. Sin ajuste específico = todos los cultivares a población promedio (200 pl.m²). Con ajuste específico = cada cultivar a la población óptima que maximiza en el rendimiento. Las cajas muestran el rango intercuartílico (0.25 y 0.75). La línea horizontal representala mediana y el punto la media. Los bigotes corresponden a cuartiles 0.05 y 0.95. Puntos negros representan valores atípicos.

6- IMPACTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO EN GRANO

El esfuerzo que implica administrar la información para definir una tecnología, sólo es justificable si se obtiene un resultado buscado, en este caso, un incremento del rendimiento o por defecto una reducción de costos.

El ajuste de la población óptima a nivel de cultivar, en base a información cuantificada de los componentes numéricos del rendimiento, la capacidad de macollaje y el nivel de sincronía, incrementó 1263 kg ha⁻¹ y 1386 kg ha⁻¹ el rendimiento de grano en trigo y cebada respectivamente, 21% en ambos casos (Fig. 4). Este incremento en el rendimiento resultó del ajuste cultivar específico de la población, y es considerado uno de los principales factores que determinan la capacidad del cultivo para capturar recursos (Lloveras *et al.*, 2004).

De los 80 cultivares de trigo y 51 cultivares de cebada evaluados en el período 2010-2022, 22 y 18 respectivamente presentaron respuesta a la población. En los cultivares donde no se registró cambio en el rendimiento por efecto de la población lograda (no incluidos en la figura 4), la población óptima sería la mínima evaluada, por tanto, también merecen un ajuste.

El 21% de incremento de rendimiento resulta de comparar el rendimiento promedio de 22 variedades en trigo y 18 variedades en cebada, a la población óptima contra sembrarlas todas a la misma población. Las respuestas mínimas fueron 701 kg ha⁻¹ y 556 kg ha⁻¹, y las máximas fueron 1956 kg ha⁻¹ y 1789 kg ha⁻¹ para trigo (CV: 27%) y cebada (CV: 34%) respectivamente. Siendo que los criterios de manejo agronómico fueron siempre los mismos, esta variabilidad resulta de la interacción genotipo y ambiente.

En la figura 5, se observa el efecto del ambiente de pro-

ducción sobre el impacto en el rendimiento por el ajuste de la densidad de siembra en ambas especies. Cuanto mayor es la calidad del ambiente (mayor rendimiento alcanzable), se produce una reducción en la respuesta al ajuste de la población óptima. La interpretación agronómica es que, al ser el impacto menor, el ajuste de la población pierde importancia y, por lo tanto, no se justifica un incremento de la población en ambientes de mejor calidad, tal como lo reportan Bastos *et al.* (2020).

Esto es resultado de una mejor distribución de recursos entre plantas (Lloveras *et al.*, 2004) y probablemente dentro de plantas (no cuantificado). El esfuerzo en gestionar la información, debería hacerse cuando los recursos son limitados, existan factores que impidan la captura de los recursos por parte del cultivo o en cultivares menos eficientes en la transformación de los factores que determinan el rendimiento potencial. Sin embargo, ante la incertidumbre de la bondad del año (índice ambiental) y de las fluctuaciones en el régimen térmico durante el período de macollaje, es imprescindible utilizar poblaciones óptimas para cada cultivar.

7- COMENTARIOS FINALES

La información discutida cuantifica el aporte esperado por definir la población objetivo en base al conocimiento del comportamiento de los cultivares. Este ajuste “manejo cultivar específico” es parte de la tecnología de producción de cereales de invierno. Su definición toma en cuenta no solo la capacidad de macollaje del cultivar, sino también la sincronía entre macollos.

La importancia de contemplar estas diferencias entre cultivares es de mayor cuando el índice ambiental empeora, ya que los factores que limitan el rendimiento tienen una mayor expresión.

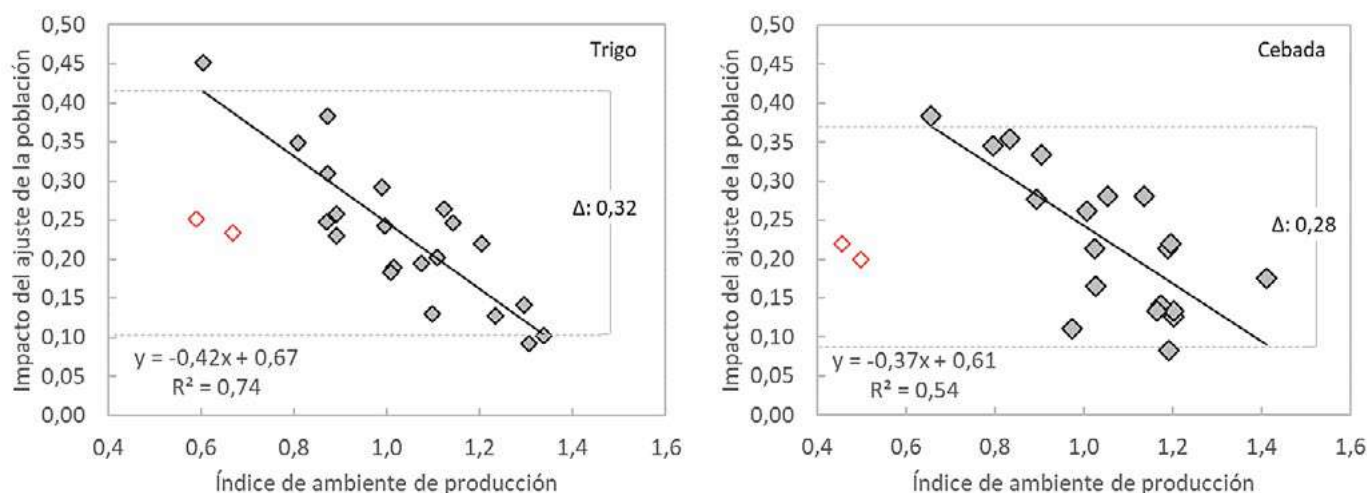


Figura 5. Impacto del ajuste de la población a nivel de cultivar en relación a un índice de calidad del ambiente de producción, para trigo (izquierda) y cebada (derecha). Símbolos rojos no fueron incluidos en el modelo de regresión. Índice de ambiente de producción = rendimiento sin manejo específico / (rendimiento promedio sin manejo específico). Impacto del ajuste de la población = (rendimiento a población óptima – rendimiento a población promedio) / rendimiento a población promedio.

Contemplando este efecto, la limitante es que cada cultivar se evaluó únicamente en dos años y un solo sitio. Si bien el efecto de la temperatura durante el período siembra-Z30 se contempla con trabajos en condiciones semi controladas (invernáculo), el efecto “índice ambiental” requiere de información que contemple un mayor número de repeticiones tanto en sitios como en años para cada cultivar.

REFERENCIAS

Bastos, L.M.; Carciocchi, W.; Lollato, R.P.; Jaenisch, B.R.; Rezende, C.R.; Schwalbert, R.; Vara Prasad, P.V.; Zhang, G.; Fritz, A.K.; Foster, C.; Wright, Y.; Young, S.; Bradley, P.; Ciampitti, I.A. 2020. *Winter Wheat Yield Response to Plant Density as a Function of Yield Environment and Tillering Potential: A Review and Field Studies*. Front. Plant Sci. 11:54. doi: 10.3389/fpls.2020.00054

Fletcher, G.M.; Dale, J.E.1974. *Growth of tiller buds in barley: effects of shade treatment and mineral nutrition*. Annals of Botany, v.38, p.63-76.

Frank, A.B.; Bauer, A. 1982. *Effect of temperature and fertilizer N on apex development in spring wheat*. Agronomy Journal, v.74, p.504-509.

García Lamothe, A. 2017. Densidad de siembra en trigo. Revista INIA. No. 49:17-22

Hoffman, E.; Ernst, O.; Brassetti, D.; Siri, G.; Espasandin, A. 1992. Modificación por manejo de la curva de crecimiento, su influencia sobre rendimiento, componentes y calidad industrial de la cebada cervecera. En: III Reunión nacional de investigadores de cebada. Minas. Uruguay.

Hoffman, E. 1995. Respuesta de los cultivos de invierno a la densidad de siembra. Cangüe. Año II, No. 3: 8-12.

Hoffman, E., Mesa, P. y Cadenazzi, M. 2006. Caracterización varietal del crecimiento inicial y respuesta a la población en trigo: INIA Tijereta y Baguette 10. Jornadas Técnicas Jornada de Cultivos de Invierno, 1(1), 1-9

Hoffman, E.; Castro, A.; Benítez, A.; Cadenazzi, M. 2007. Sincronización del macollaje y su relación con el número de espigas y rendimiento para distintos cultivares de cebada cervecera en Uruguay. In: Reunión de investigadores de cebada cervecera, 2007. Paysandú.

Hoffman, E.; Viega, L.; Cadenazzi, M.; Benítez, A.; Gestido, V.; Mesa, P.; Fernández, R.; Baeten, A.; Glison, N. 2009. Bases morfo-fisiológicas que justifican el manejo diferencial de cultivares de trigo y cebada en Uruguay. In Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1º, 2009, Paysandú, Uruguay). Memorias. Paysandú, Facultad de Agronomía (pp. 49-74).

Lloveras, J.; Manent, J.; Viudas, J.; Lopez, A. and Santiveri, P. 2004. *Seeding rate influence on yield and yield components of irrigated winter wheat in a Mediterranean climate*. Agronomy Journal 96(5), 1258–1265.

McCall, M.A.1934. *Developmental anatomy and homologies in wheat*. Journal of Agricultural Research, v.48, p.283-321.

Miralles, D. J.; Gonzalez, F. G.; Abeledo, L. G.; Serrago, R. A.; Alzueta, I.; Garcia, G. A.; de San Caledonio, R. P.; Lo Valvo, P. 2014. Manual de trigo y cebada para el cono sur. Procesos fisiológicos y bases de manejo.

Naveed, K.; Khan, M. A.; Baloch, M. S.; Ali, K.; Nadim, M. A.; Khan, E. A.; Shenhah, S. 2014. *Effect of different seeding rates on yield attributes of dual-purpose wheat*. Journal of Agricultural Sciences and Technology, 10 (1), 1-10.

Tompkins, D. K.; Hultgreen, G. E.; Wright, A. T.; Fowler, D. B. 1991. *Seed rate and row spacing of no till winter wheat*. Agronomy Journal, 83(4), 684-689.

Valerio, I. P.; Felix de Carvalho, F. I.; de Oliveira, A. C.; Benin, G.; de Souza, V. Q.; Machado, A.d. A.; Bertan, I.; Busato, C. C.; da Silveira, G.; Rob Fonseca, D. A. 2009. *Seeding density in wheat genotypes as a function of tillering potential*. Sci. Agric. 66 (12), 28–39.