

## RENDIMENTO ATINGÍVEL DE TRIGO NA ARGENTINA UTILIZANDO UMA CULTIVAR ELITE QUE EXPRESSA O GENE *HaHB4*

Francisco Ayala<sup>1</sup>, Facundo Curin<sup>2</sup>, Marcos Pareta<sup>3</sup>, María Elena Otegui<sup>4</sup>,  
Raquel Lía Chan<sup>5</sup> e Fernanda Gabriela González<sup>2,3,6(\*)</sup>

<sup>1</sup> BIOCERES, Rosário, Argentina.

<sup>2</sup> CITNOBA, CONICET-UNNOBA-UNSADA, Pergamino, Argentina.

<sup>3</sup> UNNOBA, Pergamino, Argentina.

<sup>4</sup> CONICET-INTA-FAUBA, Estación Experimental Pergamino, Facultad de Agronomía da Universidade de Buenos Aires, Pergamino, Argentina.

<sup>5</sup> Instituto de Agrobiotecnología do Litoral, Universidade Nacional do Litoral—CONICET, Facultad de Bioquímica e Ciências Biológicas, Santa Fé, Argentina.

<sup>6</sup> Estación Experimental Pergamino, INTA, Argentina. (\*) Autor para correspondência: gonzalez.f@inta.gob.ar

O gene *HaHB4* de girassol codifica um fator de transcrição que confere tolerância à seca em *Arabidopsis* (Dezar et al., 2005). Num trabalho recente (González et al., 2019), foi observada uma melhora média no rendimento atingido (6%) ao comparar a cultivar Cadenza expressando *HaHB4* (cv. IND-00412-7) com a cultivar Cadenza original (*wild type*), avaliadas numa rede de 37 ensaios que abrangem uma ampla variedade de latitudes (de -27°14' S até 39°52' S) e longitudes (de 57°40' O até 63°30' O). Essa melhora no rendimento atingiu 20% quando os ambientes explorados durante o período reprodutivo foram secos (balanço hídrico negativo) e cálidos (temperatura média >20 °C) (González et al., 2020). O maior rendimento poderia estar superestimado, pois a cultivar Cadenza possui um ciclo de crescimento muito longo numa grande parte da região indicada, forçando a localização de etapas críticas para a determinação do rendimento em condições ambientais mais adversas. Por esse motivo, o objetivo deste trabalho é analisar o impacto do gene *HaHB4* no rendimento numa cultivar elite adaptada à região pampeana argentina.

Na pesquisa, a cultivar de trigo Algarrobo foi cruzada com a cv. IND-00412-7, e a F1 resultante foi retrocruzada por Algarrobo (genitor recorrente) por duas gerações (BC2). Na primeira geração de retrocruzamentos (BC1), foi utilizada uma plataforma de 480 marcadores moleculares SNPs para assistir na recuperação do fundo genético do genitor recorrente. A partir da primeira geração de autofecundação (BC2S1), foi feita a seleção fenotípica dos caracteres do genitor recorrente por quatro gerações até obter a cv. AG-HB4-25.

Foram criados dois grupos de ensaios com as cvs. Algarrobo e AG-HB4-25, um deles para avaliar a fenologia e, o outro, o rendimento. O primeiro grupo foi submetido a uma ampla variedade de condições termofotoperiódicas. Para isso, foram utilizadas 4 e 5 datas de semeadura entre meados de maio e fins de junho no campo experimental da BIOCERES localizado em Pergamino, Argentina, durante os anos de 2018 e 2019 (Tabela 1). Foram utilizadas duas (2018) ou três (2019) repetições por data de semeadura num delineamento em blocos completos casualizados. Foram registradas as datas do primeiro nó visível (Z31), da antese (Z65) e da maturação fisiológica (Z89) de acordo com Zadoks et al. (1974). No segundo grupo, ambas as cultivares foram semeadas em datas ideais em 6 (2019) e 7 (2020) ensaios, gerando 13 ambientes (localidade x ano) distribuídos em grande parte da região pampeana Argentina (Tabela 2). Os ensaios foram semeados com um delineamento em blocos completos casualizados, com três repetições. Nos dois grupos de ensaios, as parcelas experimentais apresentavam 7 linhas de 5 m de comprimento, espaçadas em 0,2 m. Todos os ensaios foram feitos sem limitações nutricionais e com controle de pragas, doenças e plantas daninhas.

A fenologia de AG-HB4-25 apresentou pequenas diferenças em comparação com a de Algarrobo. Em todas as condições de data de semeadura x ano avaliadas, a cv. AG-HB4-25 antecipou entre 6 e 2 dias a antese e entre 4 e 2 dias a maturação em relação à cv. Algarrobo (Tabela 1). A data de início do alongamento (primeiro nó visível) de AG-HB4-25, no entanto, nunca se antecipou mais que 4 dias em comparação com a de Algarrobo. Esses resultados confirmam o baixo impacto observado na fenologia ao comparar IND-00412-7 e Cadenza (González et al., 2019).

A cv. AG-HB4-25 rendeu mais do que a cv. Algarrobo em todos os ambientes explorados (Tabela 2, Fig. 1-A). A diferença de rendimento variou entre 1811 e 91 kg ha<sup>-1</sup>, dependendo do ano e da localidade. Essas diferenças representam entre 41 e 2% de aumento no rendimento, sendo a mediana de 15,3% e a média de 19,3% (Tabela 2). Estes valores são, em média, maiores aos reportados previamente em González et al. (2019, 2020) ao comparar IND-00412-7 e Cadenza. A resposta do rendimento à melhora do índice ambiental tende a ser maior em AG-HB4-25 do que em Algarrobo (ver valores “b” inseridos na Fig. 1A), mas a tendência desapareceu quando foi analisada em termos de rendimento relativo (Fig. 1B). A melhora no rendimento relativo de AG-HB4-25 em comparação com à Algarrobo tendeu a aumentar quando o balanço hídrico se tornou mais negativo nos meses de finais do inverno/primavera, durante o último terço do estágio de alongamento, a antese e o enchimento de grãos na cultura de trigo (Fig. 1C). Essas diferenças estiveram associadas à melhora na eficiência do uso de água (EUA = rendimento obtido por mm de chuva, em kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) da cv. AG-HB4-25 em comparação com a Algarrobo quando o balanço hídrico nesses meses se tornou mais negativo (Fig. 1D).

Em conclusão, a fenologia da cv. AG-HB4-25 foi semelhante à da cv. Algarrobo, indicando que as diferenças de rendimento são produto de uma maior tolerância aos balanços hídricos negativos e não ao escape desses estresses. A diferença média no rendimento foi de 19,3% e a mediana atingiu 15,3%. Contrariamente ao hipotetizado, a diferença foi maior ao utilizar uma cv. elite adaptada às condições da região em estudo (região pampeana argentina) em comparação com Cadenza.

### **Referências bibliográficas**

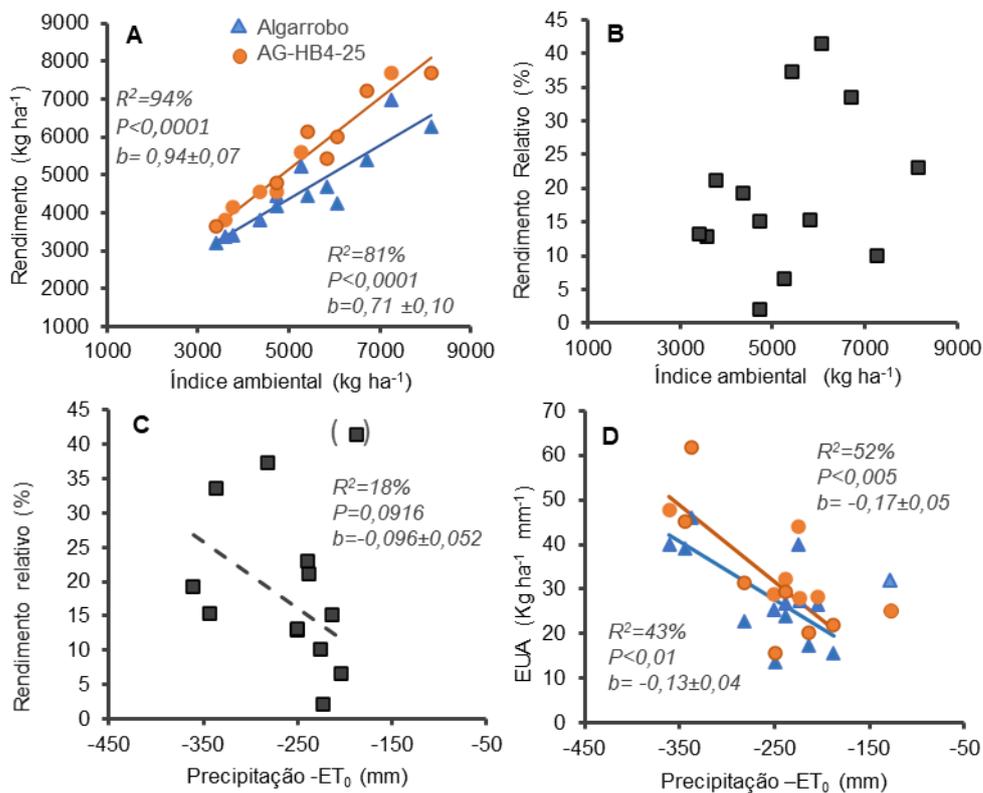
DEZAR, C.A.; GAGO, G.M.; GONZALEZ, D.H.; CHAN, R.L. Hahb-4, a sunflower homeobox-leucine zipper gene, is a developmental regulator and confers drought tolerance to *Arabidopsis thaliana* plants. **Transgenic Research** v. 14, p. 429–440, 2005.

GONZÁLEZ, F.G.; CAPELLA, M.; RIBICHICH, K.F.; CURIN, F.; GIACOMELLI, J.; AYALA, F.; WATSON, G.; OTEGUI, M.E.; CHAN, R.L. Field-grown transgenic

wheat expressing the sunflower gene HaHB4 significantly out-yields the wild type. **Journal of Experimental Botany** v. 70 (5), p.1669-1681, 2019.

GONZÁLEZ, F.G., RIGALLI, N.; MIRANDA, P.V.; ROMAGNOLI, M.M.; RIBICHICH, K.F.; TRUCCO, F.; PORTAPILA, M.; OTEGUI, M.E.; CHAN, R.L. An interdisciplinary approach to study the performance of second-generation genetically modified crops in field trials: A case study with soybean and wheat carrying the sunflower HaHB4 transcription factor. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 178, 2020.

ZADOKS, J.C.; CHANG, T.T.; KONZAK, C. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research** v. 14, p. 415-421, 1974.



**Figura 1.** **A)** Relação entre o rendimento (13,5% de umidade) e o índice ambiental (i.e. rendimento médio de 6 cv.: Algarrobo, Alhambra, Basilio, Buck Destello, Cedro e AG-HB4-25). **B)** Relação entre o rendimento relativo (ver descrição do cálculo na Tabela 2) e o índice ambiental. **C)** Relação entre o rendimento relativo (ver descrição do cálculo na Tabela 2) e o balanço hídrico (Precipitação - ET<sub>0</sub>) durante os meses de setembro/outubro/novembro, para as localidades do centro/norte, e outubro/novembro/dezembro para as localidades do sul da região pampeana. O dado entre parêntese foi omitido na análise de regressão. **D)** Relação entre a eficiência no uso de água (EUA) para gerar rendimento (calculado como rendimento/precipitação) e o balanço hídrico.

**Tabela 1.** Fenologia de Algarrobo e AG-HB4-25 em diferentes datas de semeadura durante os anos de 2018 e 2019.

Ano	Data semeadura	Cultivar	Datas <sup>1</sup>		
			1 nó visível	Antese	Maturação
2018	10 jun.	Algarrobo	15 set.	10 out.	18 nov.
		AG-HB4-25	14 set.	04 out.	14 nov.
	26 jun.	Algarrobo	21 set.	15 out.	22 nov.
		AG-HB4-25	21 set.	11 out.	20 nov.
	11 jul.	Algarrobo	26 set.	21 out.	29 nov.
		AG-HB4-25	25 set.	18 out.	27 nov.
	27 jul.	Algarrobo	12 out.	03 nov.	07 dez.
		AG-HB4-25	09 out.	28 out.	04 dez.
2019	17 maio	Algarrobo	03 set.	06 out.	SD <sup>2</sup>
		AG-HB4-25	29 ago.	03 out.	SD
	03 jun.	Algarrobo	15 set.	12 out.	SD
		AG-HB4-25	14 set.	07 out.	SD
	02 jul.	Algarrobo	30 set.	20 out.	22 nov.
		AG-HB4-25	26 set.	18 out.	20 nov.
	18 jul.	Algarrobo	08 out.	27 out.	28 nov.
		AG-HB4-25	07 out.	25 out.	26 nov.
31 jul.	Algarrobo	17 out.	04 nov.	01 dez.	
	AG-HB4-25	14 out.	02 nov.	29 nov.	

<sup>1</sup> Os desvios padrão para todos os estádios fenológicos variaram entre 0 e 1,7 dias.

<sup>2</sup> SD: sem dados devido à queda de granizo durante o enchimento de grãos.

**Tabela 2.** Rendimento de Algarrobo e AG-HB4-25 em diferentes localidades e anos.

Ano	Localidade	Lat.	Long.	Rendimento <sup>1</sup> (kg.ha <sup>-1</sup> )		Rendimento relativo <sup>2</sup> (%)
				Algarrobo	AG-HB4-25	
2019	Arias	-33,63	-62,44	3807	4542	19,31
	Balcarce	-37,84	-58,26	5402	7213	33,54
	Monte Buey	-32,41	-62,45	6981	7686	10,09
	Pergamino	-33,88	-60,56	<b>3423</b>	<b>4146</b>	21,11
	Roldán	-32,90	-60,90	4456	4547	2,05
	Tandil	-37,32	-59,13	<b>4466</b>	<b>6133</b>	37,33
	Tres Arroyos	-38,38	-60,28	4174	4806	15,14
2020	Balcarce	-37,84	-58,26	<b>4703</b>	<b>5423</b>	15,31
	Bordenave	-37,80	-63,04	<b>6258</b>	<b>7699</b>	23,04
	Pergamino	-33,88	-60,56	5240	5583	6,55
	Tandil	-37,32	-59,13	3215	3640	13,22
	Tres Arroyos	-38,38	-60,28	4237	5991	41,39
	Victoria	-32,62	-60,16	3386	3824	12,93
	Mediana			4456	5423	15,31
Média			4596	5480	19,31	

<sup>1</sup> Rendimento expresso a 13,5% de umidade. Os valores em negrito diferiram em P<0,05.

<sup>2</sup> Rendimento relativo = ((Rto. AG-HB4-25/Rto. Algarrobo) - 1)\*100