



COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE TRIGOS HARINEROS Y CRISTALINOS A TRAVÉS DE DIFERENTES AMBIENTES DE RIEGO

YIELD COMPARISON OF BREAD AND DURUM WHEATS ACROSS DIFFERENT IRRIGATED ENVIRONMENTS

Jorge L. Valenzuela-Antelo¹, Ignacio Bénitez-Riquelme¹, Héctor E. Villaseñor-Mir^{2*}, Julio Huerta-Espino², Ricardo Lobato-Ortiz¹, Graciela Bueno-Aguilar³ y Mateo Vargas-Hernández⁴

¹Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Genética, ²Postgrado en Estadística, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. km 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México. ³Programa de Trigo, Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). km 13.5 Carretera Los Reyes-Texcoco. 56250, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. ⁴Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Chapingo, Texcoco, Estado de México.

*Autor para correspondencia (hevimir3@yahoo.com.mx)

RESUMEN

Los trigos harineros y cristalinos son importantes en México por su consumo e impacto económico. Actualmente el país tiene un déficit en la producción de trigo harinero y un superávit del cristalino. Para lograr su autosuficiencia alimentaria y aumentar la productividad es necesario desarrollar variedades de mayor rendimiento e identificar sus mejores condiciones de producción. Con el propósito de determinar la especie más productiva y mejor adaptada a las regiones productoras de México bajo diferentes condiciones de riego y fechas de siembra, se diseñó un experimento con ocho genotipos cristalinos (*Triticum durum* Desf.) y ocho harineros (*Triticum aestivum* L.) sembrados en los ciclos otoño invierno 2012-2013 y 2013-2014 en 30 ambientes del Noroeste, Norte y El Bajío, como parte de los Ensayos Nacionales de Trigo de Riego (ENTRI) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. En un primer análisis se utilizaron sólo los ambientes con fecha normal, un total de 22, y se agruparon en: 1) todos los ambientes, 2) ambientes de riego completo, 3) riego reducido, 4, 5 y 6) por región y 7, 8, 9 y 10) nivel de riego por región en el Noroeste y El Bajío. Los ocho ambientes restantes permitieron evaluar el efecto fecha de siembra. Los resultados indicaron que el rendimiento de grano varió significativamente entre regiones obteniéndose los más altos en el Noroeste, seguidos por el Norte y El Bajío. El rendimiento de trigos cristalinos fue significativamente superior al de los harineros en la mitad de los grupos de ambientes. Las mayores diferencias en rendimiento se observaron en condiciones de riego completo, donde los cristalinos fueron superiores. En riego reducido, los rendimientos de ambas especies fueron similares. El efecto fecha de siembra, de normal a tardía, afectó negativamente a ambas especies, aunque en mayor magnitud a los trigos cristalinos. Las variedades de reciente liberación tienen mayor potencial productivo que las liberadas anteriormente.

Palabras clave: *Triticum aestivum*, *Triticum durum*, trigos de riego, rendimiento de grano, regiones productoras de trigo de riego.

SUMMARY

Bread and durum wheats are important in Mexico due to their consumption and economic impact. Currently, the country has a deficit of bread wheat and a surplus in durum wheat production. To achieve food self-sufficiency and increase productivity it is necessary to develop higher yield varieties and to identify the best production conditions. In order to determine the most productive and best adapted wheat species to the producing regions in Mexico

under different irrigation conditions and planting dates, an experiment was designed with eight durum wheat (*Triticum durum* Desf.) and eight bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes, during the 2012-2013 and 2013-2014 Fall-Winter cycles in 30 environments of the Northwest, Northern, and El Bajío regions as part of the National Wheat Trial for Irrigated Conditions (ENTRI) of the National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock Research. In a first analysis, only environments with normal planting date were considered, a total of 22, and grouped into: 1) all environments, 2) full irrigation environments, 3) reduced irrigation, 4, 5 and 6) by region and 7, 8, 9 and 10) irrigation level by region in the Northwest and El Bajío. The eight remaining environments were used to evaluate the effect of planting date. Results showed that grain yield varied significantly between regions, obtaining the highest yields in the Northwest, followed by the North and El Bajío. The grain yield of durum wheats was significantly higher than that of bread wheat in half of the groups of environments. The largest differences in yield were observed under full irrigation conditions, where durum wheats were superior. Under reduced irrigation conditions, yields of both species were similar. The effect of planting date, from normal to late, negatively affected both species, but the impact was higher in durum wheats. The newly released varieties have higher yielding potential than those previously released.

Index words: *Triticum aestivum*, *Triticum durum*, irrigated wheat, grain yield, irrigated wheat production regions.

INTRODUCCIÓN

Los trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) y los cristalinos o macarroneros (*Triticum durum* Desf.) son cereales de suma importancia en México, particularmente para el consumo humano, la industria de la transformación y la economía del país (Peña *et al.*, 2008). La mayor parte de la producción de este cereal se concentra en la región Noroeste y El Bajío mexicano con 55 y 28 %, respectivamente (OEIDRUS-BC, 2014). La demanda de ambos tipos de grano en el país es contrastante, mientras que el trigo cristalino tiene una sobreproducción y su excedente es exportado, de trigo harinero se tiene un déficit muy alto, por lo que se tiene que recurrir a la importación (Villaseñor *et al.*, 2011).

En México se produjeron en 2016 cerca de 3.8 millones de toneladas (SIAP, 2018), de las cuales el 60 % fue de trigo cristalino y de éste se exportó aproximadamente un 63 %; el 40 % restante fue trigo harinero, que se destinó al consumo humano (SAGARPA, 2017). Una explicación en el aumento de las importaciones de trigo harinero es atribuible a que en el noroeste parte de las áreas irrigadas donde se cultiva trigo se encuentra cuarentenada por la presencia de carbón parcial (*Tilletia indica* M.), que si bien ataca al trigo cristalino, los trigos harineros muestran mayor susceptibilidad (Huerta *et al.*, 2011).

En México el mejoramiento genético de trigo para riego se enfoca principalmente en tres regiones: El Bajío, Noroeste y Norte. Estas regiones tienen en común al menos cuatro características relevantes para su cultivo: 1) periodo de cultivo durante el ciclo otoño-invierno, 2) temperaturas relativamente bajas durante las primeras etapas de crecimiento (< 12 °C), 3) precipitaciones durante el ciclo prácticamente insignificantes, y 4) superficie sembrada en función de la disponibilidad de agua para riego (Huerta-Espino *et al.*, 2011).

De las tres regiones mencionadas, el mejoramiento genético se lleva en forma más exhaustiva en el Noroeste y en El Bajío, cada una con su propio enfoque. En el Noroeste el objetivo es el desarrollo de variedades de ambas especies de alto rendimiento, de ciclo tardío y con adaptabilidad a diferentes sistemas de producción (Aquino *et al.*, 2008); recientemente se ha enfatizado en hacer frente al efecto generado por las altas temperaturas en etapas terminales del cultivo, ya que las oleadas de calor pueden representar pérdidas de hasta 28 % en el rendimiento de grano en fechas de siembra tardías (Félix *et al.*, 2009). En El Bajío el mejoramiento de trigo harinero se enfoca a precocidad, resistencia al acame y calidad de grano de gluten suave (Huerta-Espino *et al.*, 2011). El mejoramiento genético para resistencia a sequía o el uso eficiente del agua es un común denominador en ambos enfoques regionales, ya que esta condición tiene un gran efecto en el desarrollo y productividad del cultivo (Huerta-Espino *et al.*, 2011).

La preferencia por la especie cultivada de trigo difiere por región; el trigo cristalino prevalece en el noroeste debido a sus altos rendimientos, resistencia a enfermedades y a la aceptación que éste tiene en el mercado internacional (Fuentes-Dávila *et al.*, 2014). En El Bajío se prefiere al trigo harinero suave (Solís *et al.*, 2009) y en el Norte el harinero panificable (Huerta-Espino *et al.*, 2011).

Una actividad importante dentro de los programas de mejoramiento ha sido evaluar el rendimiento de los genotipos de cada especie; no obstante, pocos esfuerzos se han dedicado a comparar el comportamiento de los trigos

cristalinos y los harineros. Pfeiffer *et al.* (2001) mencionan que el contrastar el rendimiento de ambas especies puede producir diferentes modelos para identificar los genotipos de mayor rendimiento. Diversos estudios han encontrado que el rendimiento del trigo cristalino es superior en condiciones más favorables, mientras que el trigo harinero tiene mejor desempeño en condiciones de estrés hídrico (Marti y Slafer, 2014). Se ha observado que el avance genético de ambas especies ha variado considerablemente a partir de los años 1960s; en un principio, los trigos harineros mostraban un mejor desempeño en cualquier condición; sin embargo, en las dos últimas décadas los progresos han sido mayores en los trigos cristalinos (Marti y Slafer, 2014).

Ante la diversidad ambiental, de mercado, requerimientos de la industria y respuesta a factores bióticos y abióticos de las variedades liberadas, los programas de mejoramiento dedican una gran cantidad de recursos para conocer el comportamiento de las futuras variedades; fue así como se implementó en el año 2004 el Ensayo Nacional de Trigo de Riego (ENTRI) con el objetivo de evaluar en las diferentes regiones productoras y hasta en 30 condiciones diferentes por año las líneas avanzadas candidatas a liberación (Villaseñor, 2015). Los ENTRIs han permitido probar líneas hasta en 90 ambientes diferentes y conocer características como respuesta a la diversidad de razas de royas (*Puccinia* spp.), al riego limitado, su potencial de rendimiento, estabilidad, consistencia y comportamiento en determinadas regiones productoras, lo que ha facilitado la toma de decisiones en la liberación de nuevas variedades (Villaseñor, 2015; Villaseñor *et al.*, 2012). En este contexto, el objetivo del presente estudio fue determinar, con base en el rendimiento de grano, la especie y las variedades de trigo más productivas, la región de mejor adaptación y las condiciones de riego más apropiadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Se evaluaron 16 genotipos, ocho de trigo harinero: Borlaug 100 F2014, Kronstad F2004, Roelfs F2007, Tacupeto F2001, Urbina S2007, Villa Juárez F2009, Bacorehuis F2015 y la línea experimental PMR-1, y ocho de trigo cristalino: Anatoly C2011, Cevy Oro C2008, Cirno C2008, Gema C2004, Movas C2009, Sáwali Oro C2008, Conasist C2015 y Barobampo C2015.

Sitios y condiciones experimentales

Los experimentos se establecieron en 30 ambientes en los ciclos de otoño-invierno 2012-2013 y 2013-2014, agrupados en tres regiones trigueras: Noroeste, Norte y El Bajío (Cuadro 1). Se evaluaron bajo diferentes manejos, tales

como niveles de riego, completo (C) y reducido (R), donde el primero consistió en cuatro riegos de auxilio durante el ciclo del cultivo y el segundo en la eliminación del último riego, correspondiente a la etapa de llenado de grano; dos fechas de siembra en el caso de las localidades del Valle del Yaqui, Son. y Roque, Gto., donde la fecha de siembra normal (N) se realizó la primera semana de diciembre y la tardía (T) 25 días después de efectuada la anterior (Cuadro 1). Así, los ambientes quedaron determinados por los factores ciclos de cultivo, localidades, niveles de riego y en casos específicos las fechas de siembra.

Diseño y manejo de los experimentos

El diseño experimental utilizado en cada ambiente fue bloques completos al azar con dos repeticiones con los 16 genotipos aleatorizados en cada bloque. La unidad experimental consistió de cuatro surcos de 3 m de largo espaciados a 30 cm. Las siembras y manejo agronómico se realizaron conforme a las recomendaciones del INIFAP propias de cada región.

Variable respuesta y análisis estadístico

La variable evaluada fue el rendimiento de grano, expresado en $t\ ha^{-1}$, a partir de la cosecha de cada unidad experimental. Los análisis estadísticos se realizaron con un modelo de efectos fijos. Se realizaron análisis de varianza, contrastes simples entre especies y comparaciones de medias mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS, 5%). Se utilizó el programa SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2017). En un primer análisis se utilizaron sólo los ambientes con fecha de siembra normal, y se agruparon de la siguiente manera: general, que involucró los 22 ambientes, los ambientes de riego completo (15), riego reducido (7), por región: Noroeste (10), Norte (5) y El Bajío (7), y nivel de riego por región: Noroeste riego completo (6) y reducido (4), y El Bajío riego completo (4) y reducido (3). En un segundo análisis se utilizaron sólo los ambientes de las localidades de Roque y Valle del Yaqui, donde se evaluaron dos fechas de siembra y dentro de cada fecha se agruparon por nivel de riego; en este caso se realizó contraste simple en el análisis entre especies. Se estimaron los cambios en el rendimiento al pasar de nivel de riego C a R y de fecha de siembra normal (N) a siembra tardía (T) para las especies en el primero y segundo análisis, respectivamente.

Cuadro 1. Sitios experimentales que ubican el ciclo de cultivo, la región y el nivel de riego.

Región	Localidad (No. de ambientes)	Ciclos agrícolas	Niveles de riego	Fechas de siembra
El Bajío	Roque, Gto. (8)	2012-13	C, R	N, T
		2013-14	C, R	N, T
	La Barca, Jal. (3)	2012-13	C, R	N
		2013-14	C	N
Valle del Yaqui, Son. (8)	2012-13	C, R	N, T	
	2013-14	C, R	N, T	
Noroeste	Valle del Fuerte, Sin. (4)	2012-13	C, R	N
		2013-14	C, R	N
	Mexicali, B.C. (2)	2012-13	C	N
		2013-14	C	N
Delicias, Chih. (1)	2012-13	C	N	
Norte	Río Bravo, Tamps. (2)	2012-13	C	N
		2013-14	C	N
	Zaragoza, Coah. (2)	2012-13	C	N
		2013-14	C	N

C: riego completo; R: riego reducido; N: fecha de siembra normal; T: fecha de siembra tardía.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (Cuadro 2) mostró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para rendimientos de grano entre ambientes, genotipos y genotipos dentro de especies en todos los agrupamientos, excepto para los trigos cristalinos donde las diferencias fueron solamente significativas ($P \leq 0.05$) en riego reducido, así como en la región del Noroeste. De esta manera, se puede constatar la diversidad entre ambientes de riego de las principales zonas trigueras de México, inclusive a nivel de región; así como la diversidad entre genotipos y genotipos dentro de especies.

El contraste entre especies mostró diferencia significativa ($P \leq 0.01$) en tres de los seis agrupamientos, el general, riego completo y la región Norte. Se presentó interacción significativa ($P \leq 0.01$) entre genotipos \times ambiente en un gran número de agrupamientos, especialmente para trigos harineros. En general, los coeficientes de variación fueron menores a 16 %; la excepción fue para la región Norte con 20.5 %; que señaló un alto control experimental de la variación y, en consecuencia, una alta precisión de la información y calidad de los resultados.

Dentro de regiones, y al analizar por separado riego C y R en las regiones Noroeste, El Bajío y Norte (Cuadro 3), se observaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para ambientes y genotipos. Los trigos cristalinos, así como los harineros no presentaron diferencias en las regiones Noroeste y Norte en riego completo, en tanto que los cristalinos tampoco presentaron diferencias en riego reducido en la región de El Bajío. En el contraste entre trigos cristalinos \times harineros no se presentaron diferencias en la región del Noroeste en riego completo, en El Bajío en riego reducido, así como en la región Norte en riego completo. Existe la posibilidad de reducir los ambientes de evaluación, dejando sólo los más representativos, ya que a pesar de la diversidad ambiental, los genotipos exhibieron un comportamiento aproximadamente paralelo en su rendimiento. En el caso de los trigos cristalinos, se observa un cierto patrón en su respuesta en condiciones de riego completo, pues con base en los resultados de los Cuadros 2 y 3, la interacción genotipo \times ambiente es observada en los agrupamientos de riego completo, pero no en los agrupamientos de riego reducido, por lo que es posible reducir el número de ambientes de evaluación, en especial en El Bajío.

Cuadro 2. Cuadrados medios (CM) y grados de libertad (gl) del análisis de varianza para rendimiento de grano y contrastes del comportamiento de trigos cristalinos y harineros para seis agrupamientos de ambientes.

Fuentes de variación	General		Riego Completo		Riego Reducido		Noroeste		Norte		El Bajío	
	gl	CM	gl	CM	gl	CM	gl	CM	gl	CM	gl	CM
Ambientes (Amb)	21	99.36**	14	101.83**	6	85.71**	9	51.59**	4	26.17**	6	94.36**
Rep/Amb	22	1.14	15	1.44	7	0.5	10	1.41	5	1.69	7	0.37
Genotipos	15	4.02**	15	3.37**	15	1.24**	15	1.58**	15	3.64**	15	2.5**
Cristalinos	7	2.66**	7	2.51**	7	0.93*	7	0.89*	7	3.54**	7	1.91**
Harineros	7	5.14**	7	3.87**	7	1.65**	7	2.33**	7	3.45**	7	3.33**
Cristalinos vs Harineros	1	5.79**	1	5.92**	1	0.49 ns	1	1.2 ns	1	5.79**	1	0.87 ns
Genotipos \times Amb	315	0.86**	210	1.05**	90	0.46*	135	0.77**	60	0.87 ns	90	0.66**
Cristalinos \times Amb	147	0.72**	98	0.93*	42	0.21 ns	63	0.66**	28	0.8 ns	42	0.37 ns
Harineros \times Amb	147	0.72*	98	0.77**	42	0.64**	63	0.61 ns	28	0.31 ns	42	0.72**
Cristalinos vs Harineros \times Amb	21	2.88**	14	3.88**	6	0.91*	9	2.63**	4	5.28**	6	2.28**
Error	330	0.46**	225	0.54	105	0.29	150	0.42	75	0.69	105	0.35
CV (%)		13.58		13.81		12.55		10.33		20.56		15.42

*, ** Significativo con una probabilidad de $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente; ns: no significativo; Amb: ambientes; Rep: repeticiones; CV (%): coeficiente de variación.

Cuadro 3. Cuadrados medios (CM) y grados de libertad (gl) del análisis de varianza para rendimiento de grano y contrastes del comportamiento de trigos cristalinos y harineros para las dos regiones por nivel de riego.

Fuentes de variación	Noroeste				El Bajío			
	Riego Completo		Riego Reducido		Riego Completo		Riego Reducido	
	gl	CM	gl	CM	gl	CM	gl	CM
Ambientes (Amb)	5	50.82**	3	9.21**	3	84.81**	2	89.62**
Rep/Amb	6	1.95	4	0.59	4	0.37	3	0.37
Genotipos	15	1.02*	15	1.05**	15	2.33**	15	0.84**
Cristalinos	7	0.98 ns	7	0.55*	7	1.76**	7	0.71 ns
Harineros	7	1.21 ns	7	1.31**	7	2.69**	7	0.99*
Cristalinos vs Harineros	1	0.004 ns	1	2.73**	1	3.84**	1	0.7 ns
Genotipos × Amb	75	0.98**	45	0.5**	45	0.9**	30	0.3 ns
Cristalinos × Amb	35	0.91*	21	0.24 ns	21	0.48 ns	14	0.12 ns
Harineros × Amb	35	0.61 ns	21	0.75**	21	1.02**	14	0.46 ns
Cristalinos vs Harineros × Amb	5	4.09**	3	0.54 ns	3	3.03**	2	0.45 ns
Error	90	0.52	60	0.26	60	0.37	45	0.34
CV (%)	10.5		9.61		13.39		19.5	

*, ** Significativo con una probabilidad de $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente; ns: no significativo; Amb: ambientes; Rep: repeticiones; CV (%): coeficiente de variación.

Con base en la información obtenida, la evaluación de germoplasma de trigo harinero debe ser más exhaustiva, ya que contrario a como ocurrió con los trigos cristalinos, no existe un patrón claro de la interacción genotipo-ambiente, ya sea por región o nivel de riego, por lo que se sugiere aumentar, o al menos mantener, el número de ambientes a evaluación.

En el Cuadro 4 se observa que el rendimiento de las dos especies de trigo dependió del potencial productivo de cada región, los rendimientos más altos se obtuvieron en el Noroeste, seguida por el Norte y El Bajío, aunque es necesario señalar que en el Norte no se evaluaron ambientes de riego reducido. El rendimiento de los trigos harineros y cristalinos fue estadísticamente similar en cinco de los 10 agrupamientos de ambientes. Los trigos cristalinos presentaron un rendimiento superior ($P \leq 0.05$) a los harineros en los agrupamientos General, riego completo, Noroeste riego reducido, El Bajío riego completo y Norte en el orden de 3.66, 4.22, 5.5, 8.01 y 9.84 %, respectivamente.

Marti y Slafer (2014) compararon información recopilada de diferentes lugares alrededor del mundo, incluido México, y mencionan que los trigos harineros presentaron mayor rendimiento que los cristalinos, pero que la brecha entre el rendimiento de ambas especies se ha ido estrechando a través del tiempo, al punto de que los rendimientos actuales son iguales, o inclusive superiores, en

los trigos cristalinos, tal como se observa en el presente estudio. Aisawi *et al.* (2015) evaluaron la ganancia genética del rendimiento de cultivares de trigo harinero liberados por el CIMMYT desde la década de los 1960s hasta el año 2009 y encontraron una ganancia genética de 0.59 % por año; sin embargo, dicha ganancia no estaba asociada con el número de granos por m^2 . La misma fuente menciona que también se evaluaron las variedades Tacupeto F2001 y Roelfs F2007.

En un estudio anterior, Lopes *et al.* (2012) encontraron que el progreso del rendimiento de grano en trigos harineros del CIMMYT está linealmente asociado con el peso de mil granos. A pesar de que no existen estudios recientes acerca de la ganancia de rendimiento de grano de trigos cristalinos en función de los componentes del rendimiento, Pfeiffer *et al.* (2001) mencionan la existencia de divergencia en los componentes de rendimiento de ambas especies, ya que anteriormente el número de espigas por m^2 y granos por m^2 en trigos cristalinos era inferior a los de trigos harineros; sin embargo, ambas especies han tendido a converger gradualmente, lo que podría explicar lo previamente mencionado en el estudio de Marti y Slafer (2014).

En el Cuadro 4 también se observa que las mayores diferencias porcentuales en los trigos cristalinos con respecto a los harineros se presentan generalmente en los ambientes de riego completo. Si a esto se suma que los trigos

Cuadro 4. Contraste de rendimiento (t ha⁻¹) de trigo cristalino (TC) y harinero (TH), en general, por regiones y por niveles de riego.

Agrupamientos	Cristalinos	Harineros	DMS [†]	TC/TH ^{††} (%)
General	5.10 a	4.92 b	0.12	3.66
Riego completo	5.43 a	5.21 b	0.15	4.22
Riego reducido	4.39 a	4.3 a	0.17	2.09
Efecto riego [‡] (%)	19.15	17.46		
Noroeste	6.34 a	6.22 a	0.16	1.93
Riego completo	6.90 a	6.89 a	0.23	6.9
Riego reducido	5.5 a	5.21 b	0.23	5.5
Efecto riego (%)	20.28	24.38		
El Bajío	3.94 a	3.82 a	0.2	3.14
Riego completo	4.72 a	4.37 b	0.3	8.01
Riego reducido	3.08 a	2.9 a	0.25	6.21
Efecto riego (%)	34.74	33.63		
Norte	4.24 a	3.86 b	0.29	9.84

[†]DMS: Diferencia mínima significativa (P ≤ 0.05); ^{††}Trigos cristalinos/Trigos harineros (TC/TH) = [(rendimiento de C - rendimiento de H)/rendimiento de H] × 100; [‡]Efecto riego: pérdida de rendimiento en porcentaje al cambiar de condición de riego completo a reducido; medias con la misma letra por hilera no son estadísticamente diferentes.

cristalinos sobresalieron generalmente en dicha condición de riego, se deduce que el planteamiento de que el trigo harinero tiene mayor rendimiento que el cristalino en condiciones de estrés hídrico (Marti y Slafer, 2014) no es válido en este estudio.

Con respecto al efecto de las fechas de siembra sobre el rendimiento de grano, no se presentó diferencia significativa en el Valle del Yaqui en condiciones de riego completo en trigos cristalinos, tampoco para riego reducido en ambas localidades para los trigos harineros (Cuadro 5). Las menores reducciones porcentuales en el rendimiento fueron obtenidas en la localidad del Valle del Yaqui, debido probablemente a que los genotipos sobresalieron por lo

menos en un ciclo de evaluación por parte de CIMMYT en ensayos con condiciones de estrés por calor tardío en esta localidad. Esta condición meteorológica se ha convertido en una problemática recurrente tanto en El Bajío (Solís et al., 2007) como en el Sur de Sonora, donde existe el antecedente de una disminución en el rendimiento de hasta 28 % al realizarse la siembra tardía (Félix et al., 2009).

En el análisis de comparación entre los genotipos de ambas especies (Cuadro 6) se observa una clara tendencia de que las variedades de más reciente liberación (Barobampo C2015, Conasist C2015, Bacorehuis F2015 y PMR-1, en proceso de registro), sobresalen por su rendimiento en, al menos, la mitad de los agrupamientos de ambientes evaluados, inclusive se

Cuadro 5. Comparación de rendimientos (t ha⁻¹) obtenidos en las dos fechas de siembra de trigo cristalino y trigo harinero en el Valle del Yaqui, Sonora y Roque, Guanajuato.

Agrupamientos	Trigos Cristalinos				Trigos Harineros			
	FN [†]	FT ^{††}	DMS [‡]	EFS ^{§§} (%)	FN [†]	FT ^{††}	DMS [‡]	EFS ^{§§} (%)
Valle del Yaqui								
Riego completo	6.7 a	6.0 a	0.7	10	6.4 a	5.7 b	0.7	11.3
Riego reducido	5.2 a	4.5 b	0.2	13.9	5.0 a	4.7 a	0.3	5.0
Roque								
Riego completo	5.1 a	4.0 b	0.6	20.6	4.8 a	4.2 b	0.5	13.1
Riego reducido	3.6 a	2.8 b	0.7	22.0	3.8 a	3.2 a	0.6	15.7

[†]FN: fecha de siembra normal; ^{††}FT: fecha de siembra tardía; [‡]DMS: diferencia mínima significativa; Medias con letras iguales por hileras no son estadísticamente diferentes; ^{§§}EFS: efecto en el rendimiento de grano al cambiar de fecha de siembra normal a tardía.

observan diferencias de rendimiento de casi 2 t ha⁻¹ entre las variedades Barobampo C2015 y Movas C2008 de trigos cristalinos y Bacorehuis F2015 y Tacupeto F2001 de trigos harineros en la región de El Bajío en riego completo; ésto revela que las nuevas variedades tienen mayor potencial productivo que las variedades liberadas en años pasados y que la implementación de los ENTRI's para evaluar líneas avanzadas es una estrategia efectiva que está permitiendo liberar variedades con mejores cualidades en comparación con las que actualmente conforman los mosaicos varietales, lo que coincide con lo reportado por Villaseñor *et al.* (2012) y Villaseñor (2015). Es importante señalar que la mayor parte de los trigos cristalinos fueron liberados para la región del Noroeste, y que Anatoly C2011 y Gema C2004 fueron las únicas variedades liberadas para El Bajío, mientras que en los trigos harineros todos los cultivares son de gluten fuerte, con excepción de Urbina S2007, la cual es de gluten suave. En el caso de los trigos cristalinos, el

hecho de que fueran liberados para cierta región no tuvo ningún impacto en el desempeño de éstos, en cambio en los harineros sí lo tuvo, ya que Urbina S2007 consistentemente mostró el rendimiento más bajo.

CONCLUSIONES

El rendimiento de grano de los trigos cristalinos y harineros dependió del potencial de las regiones productoras, donde sobresalió el Noroeste como la región con mayor potencial. En general, el rendimiento de los trigos cristalinos fue superior al de los harineros, sobre todo en condiciones favorables de producción. Limitar el riego en la etapa de llenado de grano afectó negativa y significativamente el rendimiento de grano de ambas especies en la misma proporción. Los programas de mejoramiento de trigos harineros y cristalinos en México siguen logrando avances en el rendimiento.

Cuadro 6. Comparación de medias de rendimiento (t ha⁻¹) entre genotipos de trigos cristalinos y harineros en el análisis general y por región, en riego completo y reducido.

Genotipos	Todos los ambientes		Noroeste		Norte	El Bajío	
	Riego completo	Riego reducido	Riego completo	Riego reducido	Riego completo	Riego completo	Riego reducido
Cristalinos							
Barobampo C2015	5.95 a	4.62 ab	7.27 a	5.92 a	4.89 a	5.27 a	2.88 abc
Conasist C2015	5.66 ab	4.53 abc	6.69 b	5.52 ab	4.484 a	5.12 ab	3.21 ab
Cirno C2008	5.48 bc	4.03 d	7.10 ab	5.26 b	4.15 a	4.70 abc	2.39 c
Anatoly C2011	5.54 bc	4.77 a	6.99 ab	5.82 a	4.07 a	5.21 ab	3.37 a
Gema C2004	5.26 bcd	4.52 abc	6.66 b	5.50 ab	4.11 a	4.59 bc	3.22 ab
Cevy Oro C2008	5.39 bcd	4.13 d	6.65 b	5.29 b	4.74 a	4.32 cd	2.57 bc
Sáwali Oro C2008	5.16 cd	4.21 cd	7.26 a	5.18 b	3.07 b	4.63 bc	2.93 abc
Movas C2009	5.04 d	4.31 bcd	6.60 b	5.54 ab	4.07 a	3.1 d	2.68 bc
DMS [†] (0.05)	0.39	0.38	0.55	0.49	0.90	0.61	0.65
Harineros							
Bacorehuis F2015	5.77 a	4.82 a	7.23 a	5.71 a	4.37 ab	5.34 a	3.64 a
PMR-1	5.39 bc	4.47 abc	6.85 a	5.31 abc	4.28 abc	4.59 b	3.35 ab
Borlaug100 F2014	5.53 ab	4.35 bc	6.86 a	5.30 abc	4.59 a	4.73 ab	3.09 ab
Villa Juárez F2009	5.06 cd	4.57 ab	7.06 a	5.48 ab	3.08 e	4.53 b	3.36 ab
Kronstad F2004	5.16 cd	4.17 cd	7.05 a	4.93 c	3.94 cd	3.86 cd	3.16 ab
Roelfs F2007	5.18 cd	4.28 bcd	7.01 a	5.37 abc	3.74 d	4.24 bc	2.82 bc
Tacupeto F2001	5.00 d	3.97 de	6.93 a	5.21 bc	3.96 bcd	3.40 d	2.31 c
Urbina S2007	4.59 e	3.74 e	6.17 b	4.37 d	2.96 e	4.27 bc	2.89 bc
DMS [†] (0.05)	0.33	0.37	0.64	0.44	0.42	0.64	0.68

[†]DMS: diferencia mínima significativa. Medias con letras iguales por columnas, dentro de cada especie (Cristalinos o Harineros) no son estadísticamente diferentes.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT por el financiamiento de la presente investigación a través del proyecto No. 146788 denominado "Sistema de mejoramiento genético para generar variedades resistentes a royas, de alto rendimiento y alta calidad para una producción sustentable de trigo en México".

BIBLIOGRAFÍA

- Aisawi K. A. B., M. P. Reynolds, R. P. Singh and M. J. Foulkes (2015) The physiological basis of the genetic progress in yield potential of CIMMYT spring wheat cultivars from 1966 to 2009. *Crop Science* 55:1749-1764, <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.09.0601>.
- Aquino M. P. R., R. J. Peña B. e I. Ortiz-Monasterio (2008) México y el CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D.F. 40 p.
- Félix V. P., J. E. Ortiz E., G. Fuentes D., J. G. Quintana Q. y J. Grajeda G. (2009) Horas Frío en Relación al Rendimiento de Trigo. Areas de producción del estado de Sonora. Folleto Técnico No. 63. Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo Experimental Valle del Yaqui, INIFAP. Cd. Obregón Sonora. 41 p.
- Fuentes-Dávila G., P. Figueroa-López., M. A. Camacho-Casas, G. Chávez-Villalba y J. L. Félix-Fuentes (2014) 'Quetchehuca Oro C2013', nueva variedad de trigo cristalino para el noroeste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:399-401.
- Huerta-Espino J., H. E. Villaseñor-Mir, E. Espitia-Rangel, E. Solis-Moya and M. van Ginkel (2011) The history of wheat breeding in Mexico. In: *The World Wheat Book. A History of Wheat Breeding*. Vol. 2. A. P. Bonjean, W. J. Angus and M. van Ginkel (eds.). Editions Tec & Doc. Paris. pp:277-308.
- Lopes M. S., M. P. Reynolds, Y. Manes, R. P. Singh, J. Crossa and H. J. Braun (2012) Genetic yield gains and changes in associated traits of CIMMYT spring bread wheat in a "historic" set representing 30 years of breeding. *Crop Science* 52:1123-1131, <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.09.0467>.
- Marti J. and G. A. Slafer (2014) Bread and durum wheat yields under a wide range of environmental conditions. *Field Crops Research* 156:258-271, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.10.008>.
- OEIDRUS-BC, Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable de Baja California (2014) Trigo Situación Nacional. Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Baja California. Mexicali, B.C. <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Produccion/Mundial/Nacional2.pdf> (Noviembre, 2015).
- Peña B. R. J., P. Pérez H., E. Villaseñor M., M. M. Gómez V. y M. A. Mendoza L. (2008) Calidad de la Cosecha de Trigo en México. Ciclo Primavera-Verano 2006. Publicación Especial del CONASIST-CONATRIGO. México, D. F. 28 p.
- Pfeiffer W. H., K. D. Sayre, M. P. Reynolds and T. S. Payne (2001) Increasing yield potential and yield stability in durum wheat. In: *Wheat in a Global Environment. Developments in Plant Breeding*. Vol. 9. Z. Bedö and L. Láng (eds.). Springer. Dordrech, The Netherlands. pp:569-577, https://doi.org/10.1007/978-94-017-3674-9_76.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017) Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Cd. de México. 28 p. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256434/B_sico-Trigo_Cristalino_y_Harinero.pdf (Marzo 2018).
- SAS Institute (2017) SAS 9.4 Companion for Windows. 5th ed. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 700 p.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2018) Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. Cd. de México. http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/. (Marzo 2018).
- Solís M. E., S. A. Ríos R., H. García N., A. Arévalo V., O. A. Grageda C., M. A. Vuelvas C., J. G. Díaz de León T., J. L. Aguilar A., A. Ramírez R., J. Narro S., R. Bujanos M., A. Marín J. y R. Peña Martínez (2007) Producción de trigo de riego en El Bajío. Folleto Técnico Núm. 3. Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Celaya, Guanajuato 94 p.
- Solís M. E., J. Huerta E., J. Ireta M., R. Sánchez C., H. E. Villaseñor M., E. Espitia R. y A. Ramírez R. (2009) Josecha F2007, nueva variedad de trigo harinero para la región de El Bajío y zonas de riego del norte de México. *Agricultura Técnica en México* 35:470-474.
- Villaseñor M. H. E. (2015) Sistema de mejoramiento genético de trigo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11:2183-2189.
- Villaseñor M. H. E., A. Limón O., M. F. Rodríguez G., E. Martínez C., R. Hortelano S. R. y L. A. Mariscal A. (2011) Evaluación bajo condiciones de temporal de variedades de trigo macarronero generadas para riego. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2:759-764.
- Villaseñor M. H. E., J. Huerta E., E. Solís M., E. Espitia R., J. Ireta M. y R. Galván L. (2012) Norteña F2007, nueva variedad de trigo para siembras de riego en la región norte y El Bajío de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:207-212.