

## La productividad del trigo harinero bajo diferentes condiciones de riego

Eliel Martínez Cruz  
Eduardo Espitia Rangel<sup>§</sup>  
Héctor Eduardo Villaseñor Mir  
René Hortelano SantaRosa

Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250. (martinez.eliel@inifap.gob.mx; villaseñor.hector@inifap.gob.mx; hortelano.rene@inifap.gob.mx).

<sup>§</sup>Autor para correspondencia: espitia.eduardo@inifap.gob.mx.

### Resumen

La producción de trigo en México depende en más de 90% de las zonas de riego las cuales están clasificadas con escasez alta de agua por lo que se deben sembrar variedades eficientes en el uso de agua. De tal manera que el objetivo de la investigación fue evaluar el comportamiento del rendimiento y sus componentes de genotipos en función de la disminución de láminas de riego (LR). Se utilizaron ocho variedades de trigo harinero y cuatro LR. Los genotipos se establecieron en un diseño de parcelas divididas con parcelas grandes arregladas como un diseño de bloques completos al azar, con dos repeticiones. Las reducciones en LR de 1 a 0.8, 0.6 y 0.4 m disminuyó el rendimiento de grano en 14.4, 37.6 y 76.8%, respectivamente. En humedad limitante (0.4 m) el número de espigas y rendimiento biológico disminuyeron 63.7 y 73.3%. El rendimiento de grano se correlacionó con el número de granos y espigas por metro cuadrado. Al disminuir la LR de 1 a 0.8 m Rebeca F2000 y Temporalera M87 presentaron rendimientos de grano superiores a 6.5 t ha<sup>-1</sup> asociados a altos rendimientos biológicos. Mientras Temporalera M87, en la lámina de 0.4 m, fue la de mayor rendimiento biológico, número granos y rendimiento de grano con 2.4 t ha<sup>-1</sup>. Por lo que se identificaron genotipos y componentes de rendimiento para ayudar en el proceso de selección con mayor potencial de rendimiento en condiciones limitantes de humedad.

**Palabras clave:** *Triticum aestivum* L., componentes del rendimiento, humedad limitada, láminas de riego, rendimiento.

Recibido: junio de 2020

Aceptado: agosto de 2020

## Introducción

La producción de trigo en México se realiza en más de 90% en condiciones de riego (SIAP, 2018). Una de las limitantes en las principales zonas de producción de trigo como son el sur de Sonora y el Bajío es su baja disponibilidad del agua por lo que ambas regiones están clasificadas dentro de las regiones hidrológicas administrativas con grado de estrés alto (CONAGUA, 2015) y que a futuro deben de considerarse escenarios de mayor escasez (Herrera-Pantoja y Hiscock, 2015).

En Guanajuato se siembra anualmente más de 90% de su superficie bajo riego colocándose en los tres primeros lugares de la superficie sembrada y el sexto lugar en la producción nacional (SIAP, 2018). Adicionalmente de acuerdo con Bolaños-González *et al.* (2001) en un estudio realizado en Guanajuato de doce cultivos analizados, el trigo se ubicó en el tercer lugar con el mayor gasto en su lámina de riego con 0.97 m por ciclo agrícola siendo superior a los del garbanzo, tomate, jitomate, cebolla, brócoli, esparrago, maíz, ejote y frijol.

Lo anterior, indica la dependencia de la producción nacional de trigo respecto del agua de riego y la escasez de este recurso en las principales zonas de producción (Solís-Moya *et al.*, 2019). De tal manera, que se debe de promover el uso eficiente del agua evaluando el rendimiento de grano en función del número de riegos aplicados en el ciclo del cultivo para que bajo estas condiciones puedan mantenerse los rendimientos (Xu *et al.*, 2018; Solís-Moya *et al.*, 2019) así como la calidad industrial (Martínez *et al.*, 2017).

De acuerdo con Ledesma-Ramírez *et al.* (2012) existen variedades de trigo harinero recomendados para el Bajío que presentaron buen potencial de rendimiento en condiciones de riego normal y limitado, lo cual se debe en parte a que en etapas segregantes del proceso de mejoramiento genético se seleccionaron con base en su rendimiento bajo riego limitado. Por ello, un paso importante es la identificación de los componentes de dicha variabilidad y evaluar la respuesta fisiológica y agronómica de las plantas ante condiciones limitantes de humedad para identificar genotipos que muestren tolerancia.

Así mismo, diversos autores han reportado el efecto del déficit hídrico en genotipos en diferentes etapas del cultivo aplicando diferente número de riegos (Shirazi *et al.*, 2014), con suministro de riego y bajo sequía (Li *et al.*, 2011), el estudio de las características fisiológicas y de eficiencia en el uso del agua (Khakwani *et al.*, 2012), hasta el estudio de las bases moleculares y fisiológicas relacionadas con la resistencia a sequía en trigo (Sallam *et al.*, 2019).

De tal manera que la selección deberá basarse en la evaluación de materiales ante diversos grados de estrés hídrico (Li *et al.*, 2011), por ejemplo, la evaluación de material segregante y variedades en campo, con base en los componentes del rendimiento que más se afectan por la disminución en la disponibilidad de agua (Bagrei y Bybordi, 2015).

Lo anterior permitirá identificar genotipos con mayor tolerancia a la sequía, así como variables asociadas al rendimiento que contribuyan a aminorar el efecto desfavorable de la falta de agua. Por lo anterior el objetivo de la presente investigación fue evaluar el comportamiento del rendimiento y sus componentes, de genotipos de trigo harinero en función de la disminución de láminas de riego en diferentes etapas fenológicas del cultivo en la región de riego del Bajío en Guanajuato, México.

## Materiales y métodos

### Material genético y evaluación en campo

El material vegetal utilizado fueron las variedades comerciales de trigo harinero: Zacatecas VT-74, Pavón F76, Gálvez M87, Temporalera M87, Batán F96, Romoga F96, Náhuatl F2000 y Rebeca F2000. La siembra se realizó en Campo experimental del Bajío (CEBAJ) del INIFAP en Celaya, Guanajuato. Ubicado a 20° 32' latitud norte y 100° 48' longitud oeste con una altitud de 1 752 m así como con una precipitación y temperatura media anual de 578 mm y 19.8 °C, respectivamente.

Los suelos donde los ensayos se establecieron se clasifican como vertisoles de textura arcillosa, de pH 7.8 y un 2.3% de materia orgánica, el nitrógeno contenido en un kilogramo de suelo es cercano a 5.62 mg, fósforo de 12.3 mg y potasio de 1016 mg (Ledesma-Ramírez *et al.*, 2012). El clima se clasifica como C (W0) (W) b (i') g, que corresponde a clima templado subhúmedo con lluvias en verano (García, 2004).

Los genotipos se establecieron en un diseño de parcelas divididas con parcelas grandes arregladas como un diseño de bloques completos al azar, con dos repeticiones, la unidad experimental fue de cuatro surcos de 3 m de longitud con una separación de 30 cm, la densidad de siembra fue de 120 kg ha<sup>-1</sup>. La siembra se realizó en la primera semana de diciembre, aplicándose cuatro láminas de riego, a los 0-35 (0.4 m, sequía en embuche), 0-35-70 (0.6 m, sequía en floración), 0-35-70-105 (0.8 m, sequía en llenado de grano) y 0-35-70-105-125 (1 m, sin sequía).

El número cero indica el riego de siembra y los números siguientes los días a los cuales se aplicaron los riegos de auxilio. Se aplicó la dosis de fertilización 240-60-00, la mitad del N y todo el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con la siembra y el resto del N con el primer riego de auxilio. Las fuentes de fertilizante fueron urea con 46% de N [CO (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] y superfosfato de calcio triple con 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [Ca (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>].

Las malezas de hoja angosta se controlaron con una aplicación de Topik<sup>®</sup> 240 EC (Clodinafop-propargil + Cloquintocet-mexilo) a los 30 días después del riego de siembra y las malezas de hoja ancha con Esterón<sup>®</sup> 47 EC (Ácido 2-4-diclorofenoxiacético) a los 34 días después de la nacencia. Se realizó una aplicación de Cipermetrina<sup>®</sup> al 2.5% (C<sub>22</sub>H<sub>19</sub>Cl<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>) para el control de pulgones en la etapa de formación y llenado de grano. Para controlar la incidencia de enfermedades foliares en la etapa de embuche se aplicó Folicur<sup>®</sup>.

Las variables medidas en campo fueron: periodo de llenado de grano (PLLG), numero de espigas por metro cuadrado (EPMC), numero de granos por metro cuadrado (GPMC), peso de mil granos (PMG), rendimiento biológico (RB) e índice de cosecha (IC). En cada ensayo, una vez llegado a la madurez comercial del grano (menor al 13% de humedad) se procedió a realizar la cosecha de las parcelas utilizando una mini-trilladora Wintersteiger<sup>®</sup> para cereales de grano pequeño, separando el grano de cada parcela para limpieza y pesado para estimar el rendimiento de grano (REG) en kg ha<sup>-1</sup>.

## Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM del SAS (SAS Institute, 2002) y se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey para identificar las diferencias entre láminas de riego y variedades. Adicionalmente se realizaron las correlaciones de Pearson entre el rendimiento y sus componentes para cada una de las láminas de riego.

## Resultados y discusión

Se encontraron diferencias significativas en casi todas las variables evaluadas para las diferentes láminas de riego excepto para peso de mil granos. Mismo comportamiento de las variables se observó para genotipos, solo no hubo diferencias para índice de cosecha. Lo anterior indica que en general la disponibilidad del agua de riego y la variabilidad de los genotipos utilizados afectaron la productividad y los componentes del rendimiento. Lo anterior concuerda con Tari (2016) quien indicó que el efecto del déficit hídrico, en el rendimiento y calidad del grano, está asociada a la etapa de crecimiento del cultivo.

Así mismo concuerda con lo encontrado por Ul-Allah *et al.* (2018) quienes encontraron que el rendimiento de grano es afectado por el riego, genotipo y aplicación de nitrógeno. Para la interacción lámina de riego por genotipo se encontraron diferencias para periodo de llenado de grano, granos por metro cuadrado y peso de mil granos (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Cuadros medios de variables agronómicas de trigo harinero en condiciones de riego, Roque, Guanajuato.**

FV	gl	PLLG	EPMC	GPMC	PMG	RB	IC	REG
Lámina de riego (LR)	3	480**	313121.9**	634478813**	17.0 ns	4332926.7**	0.02**	88730903.7**
Error (a)	4	6.6	2961	863927	11.9	68815.7	6x10 <sup>-3</sup>	241405.3
Genotipos (G)	7	11.9*	17371.9**	22070648**	107.4**	124532.5**	3x10 <sup>-3</sup> ns	793328.6*
LR*G	21	11.4**	5694.3 ns	6065670*	18.1**	35614.5 ns	1x10 <sup>-3</sup> ns	458385 ns
Error (b)	28	3.8	4283	3126694	6.7	34313	1x10 <sup>-3</sup>	280161.5
Media		39.9	369.2	12902.7	36.8	1144.3	0.42	4723.8
CV		4.9	17.7	13.7	7	16.2	10	11.2

\*, \*\*= significativas con  $p \leq 0.05$  y  $p \leq 0.01$ ; Gen= genotipo; FV= fuente de variación; gl= grados de libertad; CV= coeficiente de variación; PLLG= periodo de llenado de grano; EPMC= espigas por metro cuadrado; GPMC= granos por metro cuadrado; PMG= peso de mil granos; RB= rendimiento biológico; IC= índice de cosecha; REG= rendimiento de grano.

Pero no se encontraron diferencias para espigas por metro cuadrado, rendimiento biológico, índice de cosecha y rendimiento de grano lo que indica que estas variables se incrementaron paralelamente en todos los genotipos en función de la lámina de riego. Esto último indica que el rendimiento es afectado en mayor medida por las láminas de riego y no por el genotipo lo cual coincide con Gizaw *et al.* (2016) quienes indicaron que la disponibilidad de humedad en el suelo y la temperatura ambiental explicaron 86% de la variación del rendimiento en diferentes años y localidades.

En el Cuadro 2 se presentan los promedios por láminas de riego de las variables analizadas. La lámina de riego de 1 m se asoció con los valores mayores de periodo de llenado de grano, índice de cosecha, número de granos y rendimiento de grano. Una forma de seleccionar líneas avanzadas con mayor tolerancia a la falta de agua es mediante la aplicación de menores láminas de riego de tal manera que en este estudio se observó que la reducción de 1 m a 0.8 m se asoció con la disminución en periodo de llenado de grano, índice de cosecha y número de granos los cuales se redujeron en 4.5, 14.9 y 11.8%, respectivamente, lo que consecuentemente disminuyó el rendimiento de grano en 14.4%.

**Cuadro 2. Comparación de medias de rendimiento y sus componentes de trigo harinero en diferentes lamina de riego.**

LR	PLLG	(%)d	EPMC	(%)d	PMG	RB	(%)d	IC	(%)d
1.0	44.9 a*		461 a		38.2 a	1509 a		0.47 a	
0.8	42.9 b	4.4	478.9 a		36.7 a	1502.6 a		0.4 b	14.9
0.6	39.6 c	11.8	363.5 b	21.4	36.6 a	1163.5 b	22.9	0.39 b	17
0.4	32.4 d	27.8	173.7 c	63.7	35.7 a	402.3 c	73.3	0.41 b	12.8
DSH	1.9		63.2		2.5	178.8		0.04	

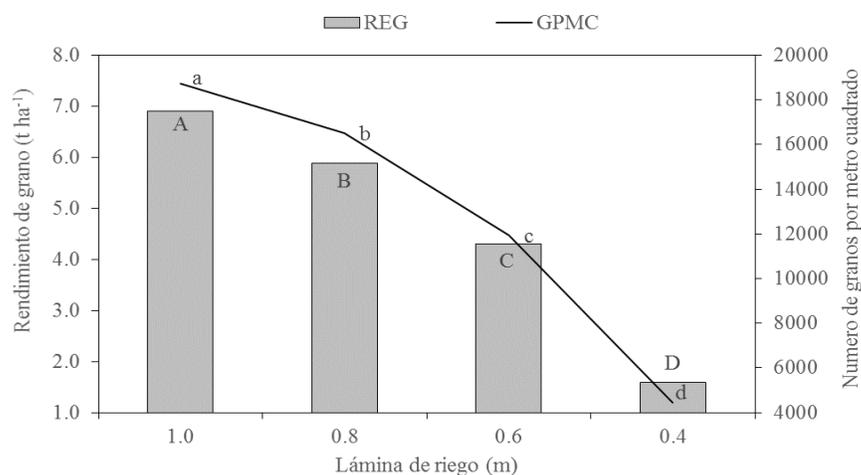
\*= medias por columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p=0.05$ ). LR= lámina de riego (m); PLLG= periodo de llenado de grano (días); EPMC= espigas por metro cuadrado; PMG= peso de mil granos (g); RB= rendimiento biológico ( $\text{g m}^{-2}$ ) e IC= índice de cosecha; (%)d= porcentaje de disminución respecto a la LR de 1 m; DSH = diferencia significativa honesta de Tukey ( $p=0.05$ ).

Dicha disminución en el rendimiento es similar a la indicada por Paquini-Rodríguez *et al.* (2016) quienes reportaron porcentajes de 12.4 y 17.9 para la primera y segunda fecha de siembra, respectivamente, al pasar de riego normal a riego restringido en Celaya, Guanajuato. Pero es menor a lo reportado por Valenzuela-Antelo *et al.* (2018) de 33.6% en la misma localidad. Sin embargo, ambos autores obtuvieron sus resultados en diferentes años y utilizaron distintos genotipos.

Las láminas de 0.6 y 0.4 m mostraron los valores menores de periodo de llenado de grano, espigas por metro cuadrado, rendimiento biológico, índice de cosecha y granos por metro cuadrado, así como los menores rendimientos. Lo anterior concuerda con lo indicado por Ayed *et al.* (2017); Valdés *et al.* (2017) y Thapa *et al.* (2019) quienes manifestaron que el rendimiento y algunos componentes disminuyen con la aplicación de menor agua de riego. Sin embargo, Thapa *et al.* (2019) mencionaron que menores regímenes hídricos no afectaron el índice de cosecha lo cual concuerda parcialmente con lo encontrado en este estudio dado que el índice de cosecha fue similar para las láminas de riego 0.8, 0.6 y 0.4 m. Mientras que el peso de mil granos fue similar para todas las condiciones de riego.

Las mayores pérdidas en rendimiento de grano de 37.6 y 76.8% se observaron al pasar de la lámina de riego de 1 m a 0.6 y 0.4 m, respectivamente (Figura 1). Lo anterior, se debió a que los riegos se suspendieron en las etapas fenológicas de espigamiento y amacollamiento, respectivamente. De tal manera que para el caso del riego que se aplicó hasta la etapa de amacollamiento (0.4 m) provocó los mayores porcentajes de disminución en el periodo de llenado de grano (18.2%), espigas por metro cuadrado (63.7%) y rendimiento biológico (73.3%) lo que correspondió con la mayor

pérdida de rendimiento de grano lo cual concuerda con lo reportado por Tari (2016) quien indicó que se presentaron pérdidas significativas en el rendimiento de grano por la deficiencia del agua en las etapas de elongación del tallo y floración.



**Figura 1. Comportamiento del rendimiento de grano (REG) y granos por metro cuadrado (GPM) del trigo harinero en las diferentes laminas de riego evaluadas. Barras y líneas con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p=0.05$ ).**

En el Cuadro 3 se presentan los promedios de las variables analizadas por genotipo. Numéricamente Rebeca F2000 presentó el mayor rendimiento de grano lo cual se explica en parte por su periodo de llenado grano más largo y rendimiento biológico superior. Mientras que Temporalera M87 que ocupó el segundo lugar de rendimiento de grano presentó el valor más alto para el peso de mil granos de todos los genotipos el cual fue mayor a 40 g lo que es similar al encontrado por Gutiérrez-García *et al.* (2006) quienes reportaron valores aproximados a 42 g para esta variedad.

**Cuadro 3. Comparación de medias del rendimiento y sus componentes, por genotipo de trigo harinero bajo condiciones de riego.**

	PLLG	EPMC	PMG	RB	IC	GPMC	REG
Rebeca F2000	41.1 a*	368.6 bac	38.9 b	1284.3 a	0.39 a	13124.9 bac	5092 a
Temporalera M87	41.4 a	369 bac	43.6 a	1156.4 ba	0.44 a	11326.3 bc	4993.1 a
Náhuatl F2000	37.7 b	393.7 bac	31.5 d	1260.7 a	0.4 a	15718.5 a	4952.8 a
Pavón F76	39.6 ba	409.9 ba	35.5 cbd	1198.2 ba	0.42 a	14202.3 ba	4875 a
Romoga F96	39.4 ba	437.9 a	33.8 cd	1229.9 a	0.39 a	13859.8 ba	4772.6 a
Batán F96	39.1 ba	316.4 bc	36.6 cb	1052.1 ba	0.43 a	12258.5 bc	4468.4 a
Gálvez M87	40.4 ba	295.8 c	36 cb	1047.1 ba	0.42 a	12109.3 bc	4404.5 a
Zacatecas VT74	40.9 ba	363 bac	38.6 b	926.4 b	0.45 a	10622.5 c	4232.6 a
DSH	3.2	107	4.2	302.8	0.06	2891.3	865.5

\*= medias por columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p=0.05$ ). LR= lámina de riego (m); PLLG= periodo de llenado de grano (días); EPMC= espigas por metro cuadrado; PMG= peso de mil granos (g); RB= rendimiento biológico ( $g\ m^{-2}$ ) e IC= índice de cosecha; GPMC = granos por metro cuadrado; REG = rendimiento de grano ( $t\ ha^{-1}$ ); DSH = diferencia significativa honesta de Tukey ( $p=0.05$ ).

Por otro lado, Náhuatl F2000 mostró el valor más alto de número de granos, pero se asoció al periodo de llenado de grano más corto así como al peso de mil granos más bajo por lo que presentó un menor rendimiento respecto a Rebeca F2000 y Temporalera M87. Para peso de mil granos en Náhuatl F2000, Gutiérrez-García *et al.* (2006) presentaron resultados similares con valores menores a 34 g. Para el caso de Zacatecas VT74 que presentó el rendimiento más bajo se asoció a los valores menores de rendimiento biológico y granos por metro cuadrado.

En el Cuadro 4 se presentan las correlaciones de Pearson entre el rendimiento de grano y sus componentes para las diferentes láminas de riego analizadas. Se observó que el rendimiento de grano presentó correlaciones positivas altas con el rendimiento biológico en las cuatro condiciones de riego lo que concuerda con Beche *et al.* (2014) quienes encontraron valores de 0.88 de correlación. Asimismo, la productividad se correlacionó positivamente con número de granos y espigas por metro cuadrado en las diferentes láminas de riego.

**Cuadro 4. Correlaciones de Pearson de los componentes del rendimiento en diferentes láminas de riego.**

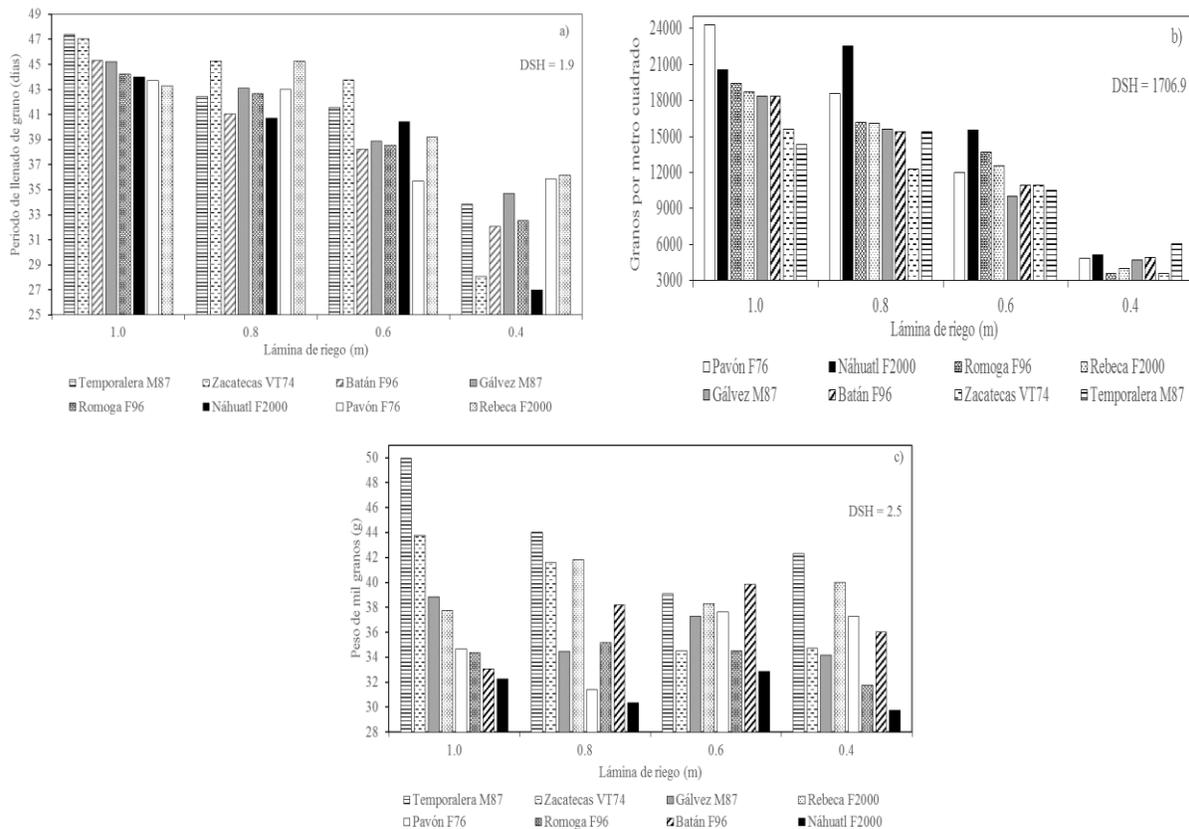
	LR	IC	RB	EPMC	PMG	GPMC	REG
PLLG	1	0.23*	0.28**	-0.01	0.29**	0.11	0.36**
PLLG	0.8	0.21	0.08	-0.13	0.39**	-0.11	0.27**
PLLG	0.6	-0.02	0.34**	0.033	0.3**	0.22*	0.45**
PLLG	0.4	-0.04	0.18	-0.01	0.12	0.07	0.16
IC	1		-0.14	0.04	0.23**	0.14	0.34**
IC	0.8		-0.56*	-0.2	0.38**	-0.09	0.3**
IC	0.6		-0.68*	-0.15	-0.01	0.06	0.03
IC	0.4		-0.43*	-0.35*	0.33**	-0.16	-1.8x10 <sup>-2</sup>
RB	1			0.62**	0.14	0.68**	0.87**
RB	0.8			0.57**	0.03	0.51**	0.6**
RB	0.6			0.5**	0.09	0.51**	0.68**
RB	0.4			0.8**	-0.11	0.86**	0.9**
EPMC	1				-0.26*	0.75**	0.63*
EPMC	0.8				-0.19	0.56**	0.43**
EPMC	0.6				-0.37*	0.69**	0.56**
EPMC	0.4				-0.24*	0.77**	0.75**
PMG	1					-0.48*	0.24*
PMG	0.8					-0.59*	0.4**
PMG	0.6					-0.49*	9.2 x10 <sup>-2</sup>
PMG	0.4					-0.42*	0.01
GPMC	1						0.71**
GPMC	0.8						0.49**
GPMC	0.6						0.81**
GPMC	0.4						0.88**

\*, \*\* = significativas con  $p \leq 0.05$  y  $p \leq 0$ , respectivamente. LR= lamina de riego; PLLG= periodo de llenado de grano (días); EPMC= espigas por metro cuadrado; PMG = peso de mil granos (g); RB= rendimiento biológico (g m<sup>-2</sup>); IC= índice de cosecha; GPMC= granos por metro cuadrado; REG= rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>).

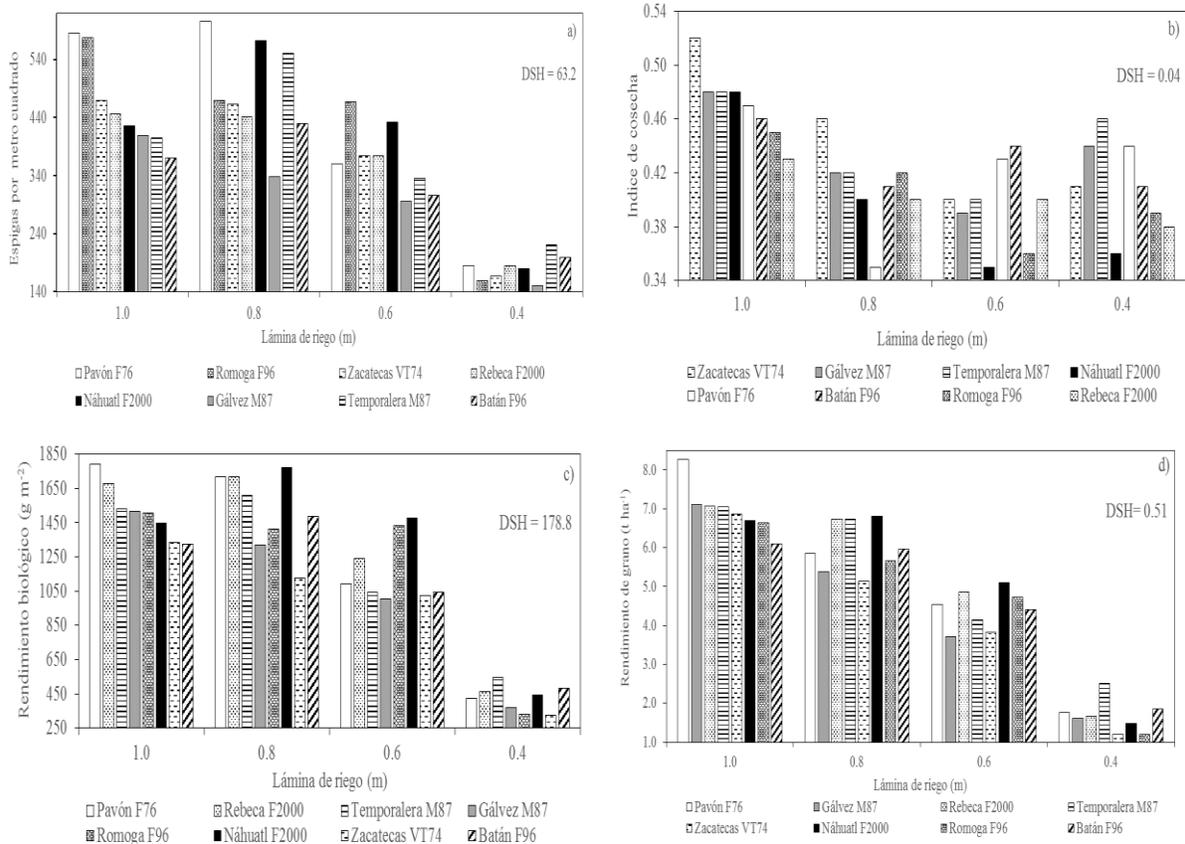
Lo anterior, concuerda con Sukumaran *et al.* (2015) que encontraron correlaciones de 0.56 entre rendimiento y número de granos, mientras que Beche *et al.* (2014) reportaron correlaciones de 0.93 para estas dos variables. Por otro lado, se observaron las correlaciones más altas para rendimiento de grano con rendimiento biológico, número de granos por metro cuadrado y espigas por metro cuadrado en la lámina de riego de 0.4 m.

Lo cual concuerda con lo reportado por del Pozo *et al.* (2016) quienes reportaron correlaciones de 0.75 y 0.6 entre número de granos y espigas, respectivamente, con rendimiento de grano en condiciones de sequía. Igualmente coincide con lo reportado por López-Castañeda (2011) y Domínguez *et al.* (2016) quienes indicaron un comportamiento equivalente en cebada en ambientes de riego y sequía. Lo anterior, evidencia que estos componentes de rendimiento deben de usarse como variables de selección en condiciones limitantes de humedad para generar genotipos con mayor potencial de rendimiento.

Por otro lado, los componentes del rendimiento y los genotipos evaluados se comportaron de la siguiente manera dependiendo de la lámina de riego. La variedad Pavón F76 en la lámina de riego 1 m presentó el rendimiento de grano más alto con valores superiores a las 8.5 t ha<sup>-1</sup> (Figura 3d), lo cual se explica por su número más alto de granos y espigas por metro cuadrado que fue de 24 000 y 590, respectivamente (Figura 2b y 3a) así como por su rendimiento biológico superior a 1 650 g m<sup>-2</sup> (Figura 3c).



**Figura 2. Comportamiento del periodo de llenado de grano (a); granos por metro cuadrado (b); y peso de mil granos (c) de los genotipos analizados para cada lamina de riego.**



**Figura 3. Comportamiento de espigas por m<sup>2</sup> (a); índice de cosecha (b); rendimiento biológico (c); y rendimiento de grano (d) de los genotipos analizados para cada lamina de riego.**

Sin embargo, al disminuir la lámina de riego de 1 a 0.8 m los genotipos de mayor productividad fueron Rebeca F2000, Temporalera M87 y Náhuatl F2000 con rendimientos superiores a los 6.5 t ha<sup>-1</sup>. Estos tres genotipos se asociaron con rendimientos biológicos de los más altos con valores de 1 550 g m<sup>-2</sup>. Asimismo, en el caso de Náhuatl F2000 y Temporalera M87 presentaron valores mayores a 540 espigas por m<sup>2</sup>. Y en el caso de Temporalera M87 y Rebeca F2000 presentaron valores de peso de mil granos superiores a 41 g. Es importante mencionar, que Náhuatl F2000 destacó por sus altos rendimientos de grano bajo las condiciones de 0.8 y 0.6 m de lámina de riego, este comportamiento se explica por sus valores altos de número de granos por metro cuadrado de 21 000 y 15 000, respectivamente, así mismo mostró valores altos de rendimiento biológico.

En contraste, presentó los valores más bajos de peso de mil granos (menores de 34 g), respecto a todos los genotipos. Lo anterior concuerda parcialmente con Bustos *et al.* (2013) quienes reportaron en líneas doble haploides que los componentes que favorecieron mayormente el rendimiento de grano fueron principalmente el rendimiento biológico y el número de granos, pero no el índice de cosecha y el peso de grano.

En la condición de mayor limitación de humedad; es decir, en la lámina de riego de 0.4 m, la variedad con mayor rendimiento de grano fue Temporalera M87 con un valor superior a 2.4 t ha<sup>-1</sup> lo cual se explica por sus valores más altos, respecto al resto de los genotipos, para rendimiento biológico de 450 g m<sup>-2</sup>, índice de cosecha de 0.46, valores de 220 y 6 029 espigas y granos por m<sup>2</sup>, respectivamente. Adicionalmente presentó el peso de mil granos mayor con 42 g.

Dicho comportamiento de esta variedad coincide con lo encontrado por Rodríguez *et al.* (2002) quienes indicaron que Temporalera M87 presentó excelente comportamiento en condiciones de temporal regular con precipitaciones de 400 a 600 mm. Es importante destacar que la variedad Temporalera M87 para cada una de las láminas de riego presentó el valor más alto para el peso de mil granos (Figura 2c).

Por lo que esta variedad bajo la lámina de riego de 0.8 m presentó el mayor peso de mil granos, cercano a 50 g, pero también presentó el menor número de granos, lo cual concuerda con las correlaciones negativas encontradas entre estas dos variables en esta investigación (Cuadro 4) y corrobora lo indicado por Acreche y Slafer (2006); Sukumaran *et al.* (2015); Gizaw *et al.* (2016). Comportamiento inverso presentó Náhuatl F2000 que se asoció en todas las láminas de riego con el mayor número de granos, pero con el menor peso de mil granos (Figuras 2b y 2c).

## Conclusiones

El rendimiento de grano y sus componentes se afectaron en mayor medida cuando se suspendió el riego en la etapa de amacollamiento y espigamiento. Las variables rendimiento biológico, número de granos y espigas son variables que se correlacionaron con rendimiento de grano en las condiciones normales y restrictivas de humedad.

Por lo que se deben de aplicar dentro de los programas de mejoramiento para ayudar a mejorar la eficiencia en el proceso de selección de genotipos con mayor potencial de rendimiento de grano. Bajo condiciones limitantes de humedad las variedades Temporalera M87 y Náhuatl F2000 conjuntaron mayor rendimiento de grano con variables altas de rendimiento biológico, número de granos y espigas.

Por lo que deben de usarse como progenitores dentro de los programas de mejoramiento para derivar progenies que conjuntes dichas características. Para el caso de Temporalera M87, se puede utilizar como progenitor para derivar progenies con mayor peso de grano y para caso de Náhuatl F2000 para incrementar el número de granos.

## Literatura citada

- Acreche, M. M. and Slafer, G. A. 2006. Grain weight response to increases in number of grains in wheat in a Mediterranean area. *Field Crops Res.* 98(1):52-59.
- Ayed, S.; Rezgui, M.; Othmani, A.; Rezgui, M.; Trad, H.; Silva, J. A. y Kharrat, M. 2017. Respuesta al estrés hídrico de trigos duros (*Triticum turgidum* ssp. durum) y harineros (*Triticum aestivum* L.) de Túnez. *Agrociencia.* 51(1):13-26.
- Bagrei, B. and Bybordi, A. 2015. Yield and yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under non-stress and drought stress conditions. *Int J Biosci.* 6(3):338-348.
- Beche, E.; Benin, G.; Silva, C. L.; Munaro, L. B. and Marchese, J. A. 2014. Genetic gain in yield and changes associated with physiological traits in Brazilian wheat during the 20<sup>th</sup> century. *Euro. J. Agron.* 61(1):49-59.
- Bolaños-González, M.; Palacios-Vélez, E.; Scott, C. y Exebio-García, A. 2001. Estimación del volumen de agua usado en una zona de riego mediante una imagen de satélite e información complementaria. *Agrociencia.* 35(6):589-597.

- Bustos, D. V.; Hasan, A. K.; Reynolds, M. P. and Calderini, D. F. 2013. Combining high grain number and weight through a DH-population to improve grain yield potential of wheat in high-yielding environments. *Field Crops Res.* 145(4):106-115.
- CONAGUA. 2015. Comisión Nacional del Agua. Statistics on Water in Mexico 2015. Edition. [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2015\\_ing.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2015_ing.pdf).
- Del-Pozo, A.; Yáñez, A.; Matus, I. A.; Tapia, G.; Castillo, D.; Sanchez-Jardón, L. and Araus, J. L. 2016. Physiological traits associated with wheat yield potential and performance under water-stress in a Mediterranean environment. *Frontiers in plant Sci.* 7(7):1-13.
- Domínguez, L. E. M.; Castañeda, C. L.; Riquelme, I. B. y Contreras, J. A. M. 2016. Desarrollo radical y rendimiento en diferentes variedades de trigo, cebada y triticale bajo condiciones limitantes de humedad del suelo. *Rev. Terra Latinoam.* 34(4):393-407.
- García, M. E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Quinta edición. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, DF. 90 p.
- Gutiérrez-García, A. S.; Carballo-Carballo, A.; Mejía-Contreras, J. A.; Vargas-Hernández, M.; Trethowan, R. y Villaseñor-Mir, H. E. 2006. Caracterización de trigos harineros mediante parámetros de calidad física y fisiológica de la semilla. *Agric. Téc. Méx.* 32(1):45-55.
- Gizaw, S. A.; Garland-Campbell, K. and Carter, A. H. 2016. Evaluation of agronomic traits and spectral reflectance in Pacific Northwest winter wheat under rain-fed and irrigated conditions. *Field Crops Res.* 196(9):168-179.
- Herrera-Pantoja, M. and Hiscock, K. M. 2015. Projected impacts of climate change on water availability indicators in a semi-arid region of central Mexico. *Environ. Sci. Policy.* 54(12):81-89.
- Khakwani, A. A.; Dennett, M. D.; Munir, M. and Abid, M. 2012. Growth and yield response of wheat varieties to water stress at booting and anthesis stages of development. *Pak. J. Bot.* 44(3):879-886.
- Ledesma, R. L.; Solís, M. E.; Suaste, F. M. P.; Rodríguez, C. J. F. y Cruz, G. M. L. D. 2012. Análisis GGE BIPLLOT del rendimiento de trigo (*Triticum* spp.) con riego normal y restringido en el Bajío, México. 2012. *Agrociencia.* 46(2):119-131.
- Li, P.; Chen, J. and Wu, P. 2011. Agronomic characteristics and grain yield of 30 spring wheat genotypes under drought stress and nonstress conditions. *Agron. J.* 103(6):1619-1628.
- López-Castañeda, C. 2011. Variación en rendimiento de grano, biomasa y número de granos en cebada bajo tres condiciones de humedad del suelo. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 14(3):907-918.
- Martínez, C. E.; Espitia, R. E.; Villaseñor, M. H. E.; Hortelano, S. R.; Muñoz, R. E. y Zamudio, C. A. 2017. Calidad industrial del trigo harinero en función del número de riegos. *Revi. Mex. Cien. Agríc.* 8(7):497-1508.
- Paquini-Rodríguez, S. L.; Benítez-Riquelme, I.; Villaseñor-Mir, H. E.; Muñoz-Orozco, A. and Vaquera-Huerta, H. 2016. Incremento en el rendimiento y sus componentes bajo riego normal y restringido de variedades mexicanas de trigo. *Rev. Fito. Mex.* 39(4):367-378.
- Rodríguez, P. J. E.; Sahagún, C. J.; Villaseñor, M. H. E.; Molina, G. J. D. y Martínez, G. A. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(2):143-151.

- Sallam, A.; Alqudah, A. M.; Dawood, M. F. A.; Baenziger, P. S. and Börner, A. 2019. Drought stress tolerance in wheat and barley. *Adv. Physiol. Breed. Gen. Res. Int. J. Mol. Sci.* 20(13):31-37.
- SAS Institute. 2002. *SAS/STAT User's Guide*, Software versión 9.0. Cary, N. C., USA. 4424 p.
- Shirazi, S. M.; Zardari, N. H.; Yusop, Z.; Ismail, Z. and Othman, F. 2014. Performance of wheat crop under different irrigation regimes and nitrogen levels. A field experiment. *J Environ. Protec. Eco.* 15(3):973-982.
- SIAP. 2018. Servicio de información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx).
- Solís-Moya, E.; Huerta-Espino, J.; Villaseñor-Mir, H. E.; Mariscal-Amaro, L. A.; Ledesma-Ramírez, L. y Pérez-Herrera, P. 2019. Elia m2016, nueva variedad de trigo harinero para riego restringido en el Bajío, México. *Rev. Fito. Mex.* 42(1):79-81.
- Sukumaran, S.; Dreisigacker, S.; Lopes, M.; Chavez, P. and Reynolds, M. P. 2015. Genome-wide association study for grain yield and related traits in an elite spring wheat population grown in temperate irrigated environments. *Theor. Appl. Genet.* 128(2):353-363.
- Tari, A. F. 2016. The effects of different deficit irrigation strategies on yield, quality, and water-use efficiencies of wheat under semi-arid conditions. *Agr. Water Manage.* 167(3):1-10.
- Thapa, S.; Xue, Q.; Jessup, K. E.; Rudd, J. C.; Liu, S.; Marek, T. H.; Devkota, R. N.; Baker, J. A. and Baker, S. 2019. Yield determination in winter wheat under different water regimes. *Field Crops Res.* 233(3):80-87.
- Ul-Allah, S.; Iqbal, M.; Maqsood, S.; Naeem, M.; Ijaz, M.; Ashfaq, W. and Hussain, M. 2018. Improving the performance of bread wheat genotypes by managing irrigation and nitrogen under semi-arid conditions. *Archives Agron. Soil Sci.* 64(12):1678-1689.
- Valdés, V. C.; Estrada, C. G.; Martínez, R. C. G. y Domínguez, L. A. 2017. Rendimiento de grano en trigo modificado por cambios en la fuente durante el llenado de grano. *Rev. Mex. Cien. Agr.* 8(1):79-90.
- Valenzuela-Antelo, J. L.; Benítez-Riquelme, I.; Villaseñor-Mir, H. E.; Huerta-Espino, J.; Lobato-Ortiz, R.; Bueno-Aguilar, G. y Vargas-Hernández, M. 2018. Comparación del rendimiento de trigos harineros y cristalinos a través de diferentes ambientes de riego. *Rev. Fitotec. Mex.* 41(2):159-166.
- Xu, X.; Zhang, M.; Li, J.; Liu, Z.; Zhao, Z.; Zhang, Y.; Zhou, S. and Wang, Z. 2018. Improving water use efficiency and grain yield of winter wheat by optimizing irrigations in the North China Plain. *Field Crops Res.* 221(5):219-227.