

Fuertemayo F2016: variedad de trigo harinero para siembras de riego en México

Héctor Eduardo Villaseñor Mir^{1§}

Julio Huerta Espino¹

René Hortelano Santa Rosa¹

Ernesto Solís Moya²

Jorge Iván Alvarado Padilla³

Eliel Martínez Cruz¹

¹Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5 Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. Tel. 800 0882222, ext. 85355. CP. 56250. (huerta.julio@inifap.gob.mx; hortelano.rene@inifap.gob.mx; martinez.eliel@inifap.gob.mx). ²Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato, México. (solis.ernesto@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental Valle de Mexicali-INIFAP. Carretera a San Felipe km 7.5, Mexicali, Baja California. CP. 2110. Tel. 55.38718700, ext. 81604. (alvarado.jorge@inifap.gob.mx).

§Autor para correspondencia: villaseñor.hector@inifap.gob.mx.

Resumen

En México las principales regiones productoras de trigo se ubican en el noroeste (Sinaloa, Sonora y Baja California), donde se obtiene 64% de la producción nacional, bajo condiciones de riego durante el ciclo otoño-invierno. Fuertemayo F2016 es un trigo harinero de hábito de primavera, liberado por Instituto Nacional Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Es de ciclo intermedio, con altura promedio de 93 cm, presenta grano de tamaño mediano y color blanco. La línea que dio origen a Fuertemayo F2016 la generó el Centro Internacional de Maíz y Trigo y fue evaluada por el Instituto Nacional Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias en 60 ambientes de riego normal y limitado. El rendimiento en riego normal fue de 4 999 kg ha⁻¹ y en riego limitado de 4 576 kg ha⁻¹, superando a los testigos en 3% (Roelfs F2007) hasta 28% (Palmerín F2004). Su mayor ventaja sobre los testigos es su resistencia a roya de la hoja y amarilla, el nivel máximo de severidad fue de 5 a 20%, respectivamente. Posee los genes de resistencia de efecto pleiotrópico *Lr46/Yr29/Sr58*, *Sr2/Yr30* y *Lr68*. Es una variedad de grano semiduro, con peso hectolítrico de 79 kg hl⁻¹ y contenido de proteína en harina de 11.7%. Por su $W = 350 \times 10^{-4}$ J se cataloga como de gluten fuerte para la industria panificadora mecanizada y se puede mezclar para mejorar harinas de masa débil. Se recomienda para siembras en riego normal y limitado durante el invierno, en fechas tempranas a tardías en estados de Sinaloa, Baja California, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, y en fechas tempranas a intermedias en la región de El Bajío.

Palabras clave: calidad, rendimiento, resistencia.

Recibido: enero de 2023

Aceptado: febrero de 2023

A nivel mundial el trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) es el cereal de mayor importancia después del maíz, su producción es principalmente para consumo humano (FAO, 2020). En México, las principales regiones productoras de trigo se ubican en el noroeste (Sinaloa, Sonora y Baja California), donde se produce 64.2% del total nacional, dicha producción se realiza bajo condiciones de riego durante el ciclo otoño-invierno (SIAP, 2020). Un factor limitante en dichas regiones es la disponibilidad de agua, ya que, aproximadamente 58% de los mantos acuíferos presentan déficit de agua, mientras que en las presas varía su capacidad de almacenamiento de 5.5 a 73.6% (CONAGUA, 2015).

Por otra parte, en estas mismas regiones durante los últimos años, la incidencia de royas aumentó considerablemente (Rodríguez *et al.*, 2020) y a nivel mundial (Singh *et al.*, 2016), entre otras causas, debido a los cambios del medio ambiente, principalmente el aumento de la temperatura durante el ciclo del cultivo, que ha propiciado la evolución de las poblaciones patógenas de estos hongos a formas más virulentas (Ávila-Quezada *et al.*, 2018).

En el noroeste del país, las enfermedades conocidas como royas son las económicamente más importantes de este cereal. La roya de la hoja causada por *Puccinia triticina* E., es la más importante en el norte y noroeste del país, dicha enfermedad es la más distribuida y se presenta en la mayoría de las zonas de riego donde se siembra trigo (Huerta-Espino *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2020). No obstante, la roya amarilla causada por *P. striiformis* f. sp. *tritici* W. ha incrementado su incidencia en los últimos años. Por ello es necesario poner a disponibilidad de los productores variedades con buen potencial de rendimiento, resistencia a las enfermedades y con buena calidad industrial.

Origen

Fuertemayo F2016, es una variedad de trigo harinero liberada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). La línea experimental que dio origen a la variedad se obtuvo por el Programa de Trigos Harineros del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Se realizó una cruce simple entre la línea ND643/2*WBLL1 y la variedad Villa Juárez F2009 y su genealogía es: ND643/2*WBLL1 //VILLA JUAREZ.

La cruce simple se realizó en Ciudad Obregón, Sonora, en el ciclo otoño- invierno (O-I), O-I/2008-2009 (CMSS08Y00233S) y se sembró en su generación F₁ en El Batán, Texcoco, Estado de México, en el ciclo P-V/2009, esa población se cosechó masivamente y dio origen a la generación F₂, que fue sembrada en Ciudad Obregón, Sonora, en el ciclo O-I/2009-2010 y fueron cosechadas masalmente un número indefinido de selecciones (099Y). La generación F₃ se evaluó en Atizapán, Estado de México, en el ciclo primavera-verano (P-V), P-V/2010, también seleccionándose y cosechándose masalmente un número indefinido de plantas seleccionadas (099M).

La F₄ se estableció en Kenia en la estación experimental de Njoro para evaluarse por su resistencia a la raza de roya del tallo Ug99 en el ciclo P-V/2011 y fueron cosechadas masalmente un número indefinido de selecciones (099NJ). La generación F₅ fue sembrada en Ciudad Obregón, Sonora, en el ciclo O-I/2011-2012 en donde fue seleccionada y cosechada individualmente la planta número 27, a la que por su color de grano blanco se le asignó WGY (WG= grano blanco 27WGY).

La semilla de esa planta fue sembrada en su generación F₆ en El Batán, Texcoco, Estado de México, en el ciclo P-V/2012 en donde se cosechó masivamente la línea experimental (0B) que se reconoció con el pedigrí: CMSS08Y00233S-099Y-099M-099NJ-27WGY-0B.

A partir del ciclo O-I/2013-2014 la línea experimental se evaluó en el INIFAP en los ensayos nacionales de rendimiento de trigos harineros de riego en nueve estados a nivel nacional y en 60 condiciones de producción diferentes, así como en los viveros de evaluación por enfermedades que estableció en la región de los Valles Altos de México en los estados de Puebla, Tlaxcala y Estado de México en los ciclos P-V/2014 al P-V/2016. La variedad Fuertemayo F2016 durante cuatro años de evaluación sobresalió con respecto a las variedades testigo por su mayor resistencia a enfermedades y rendimiento de grano y por su buena calidad panadera.

Fuertemayo F2016 es de hábito de primavera, de ciclo intermedio (días a madurez de 121 días en promedio), con pigmentación antociánica del coleóptilo ausente o muy débil y su porte de planta es medio (altura promedio de 93 cm). Presenta una frecuencia media de plantas con hoja bandera recurvada y su espigamiento es uniforme. Sus espigas son de bordes paralelos, con serosidad media durante el llenado de grano, blancas en madurez y de posición ligeramente curvada. Su grano es de tamaño mediano, de color blanco, de consistencia semidura y coloración media a la reacción al fenol.

Rendimiento de grano

En el Cuadro 1 se presenta la comparación de rendimiento de grano de Fuertemayo F2016 y variedades testigo probadas en 60 experimentos diferentes en los estados de Sinaloa, Sonora, Baja California, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Guanajuato bajo condiciones de riego normal y riego limitado, en donde se observa que esta variedad superó el rendimiento en general de todas las variedades en 3% (Roelfs F2007) hasta 26% (Palmerín F2004), manifestando mejor comportamiento bajo condiciones de riego limitado.

Cuadro 1. Rendimiento de grano de Fuertemayo F2016 y variedades en 60 ambientes bajo condiciones de riego normal y limitado y porcentaje con respecto a variedades testigo.

Variedad	General* (60)		Riego normal (34)		Riego limitado (26)	
	(kg ha ⁻¹)	(%)	(kg ha ⁻¹)	(%)	(kg ha ⁻¹)	(%)
Fuertemayo F2016	4 809		4 999		4 576	
Roelfs F2007	4 667	-3	4 889	-2	4 401	-4
Onavas F2009	4 600	-4	4 827	-3	4 327	-5
Villa Juárez F2009	4 591	-5	4 803	-4	4 451	-3
Norteña F2007	4 568	-5	4 774	-4	4 428	-3
Kronstad F2004	4 525	-6	4 794	-4	4 194	-8
Tacupeto F2001	4 366	-9	4 560	-9	4 132	-10
Urbina S2007	4 239	-12	4 465	-11	3 981	-13
Palmerín F2004	3 573	-26	3 804	-24	3 294	-28

*= rendimiento incluye evaluaciones de Sinaloa, Sonora, Baja California, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Guanajuato (riego completo y riego limitado); %= porcentaje con respecto a Fuertemayo F2016.

Reacción a enfermedades

En el Cuadro 2 se presenta la reacción a roya de la hoja y roya amarilla en el follaje y en la espiga de la variedad Fuertemayo F2016 y variedades testigo evaluadas desde 2013 al 2016 bajo condiciones de riego en los ciclos otoño-invierno y bajo temporal en los ciclos primavera-verano, en donde se observó que esta nueva variedad mostró resistencia a las dos royas. Para roya de la hoja causada por *P. triticina* es moderadamente resistente, con lecturas de 0 a 5% de severidad; su resistencia se basa en los efectos de los genes de raza específica Lr1, Lr2a, Lr2c, Lr17 y Lr23 que confieren resistencia en todas las etapas de crecimiento, en planta adulta esa resistencia se debe al efecto de los genes Lr46 y Lr68, presencia que se determinó con los marcadores *csLV46G22* (Lan *et al.*, 2019), 7BLNRR, CSGS y CSSCL68 (Herrera-Foessel *et al.*, 2012), respectivamente.

Cuadro 2. Reacción a royas de Fuertemayo F2016 y variedades testigo.

Variedad	Roya hoja	Roya amarilla en hoja	Roya amarilla en espiga (%)
Fuertemayo F2016	0 a 5MR	0 a 20MR	0 a 10
Palmerín F2004	0 a 10R	0 a 40MS	0 a 15
Villa Juárez F2009	0 a 20MR	0 a 40MS	0 a 20
Ónavas F2009	5R a 20MR	5R a 60MS	5 a 30
Roelfs F2007	10MR a 40MS	5R a 60MS	10 a 40
Norteña F2007	10MR a 60MS	10MR a 60MS	5 a 40
Urbina S2007	10MR a 60MS	0 a 60MS	0 a 30
Kronstad F2003	40MS a 70S	0 a 60MS	0 a 30
Tacupeto F2001	20MR a 80S	30MS a 90S	20 a 70

R= resistente; MR= moderadamente resistente; MS= moderadamente susceptible; S= susceptible.

Para roya amarilla causada por *P. striiformis* f. sp. *tritici* su resistencia se debe, en parte, al gen de resistencia de raza no específica Yr29, ligado a la necrosis de la punta de la hoja (*Ltn*: leaf tip necrosis), carácter morfológico corroborado con el marcador *csLV46G22* (Lan *et al.*, 2019) y al gen Yr30 mediante el marcador *gwm533* (Randhawa *et al.*, 2018).

Calidad industrial

Fuertemayo F2016 presentó valores promedio de peso hectolítrico de 79.2 kg hl⁻¹, superiores a las variedades testigo (Cuadro 3), lo que le permitirá obtener rendimientos de harina altos. Es de grano semiduro, con contenido promedio de proteína en harina de 11.7%, semejante a la variedad testigo con mayor contenido (Kronstad F2004). Su masa presentó un valor promedio de W= 350 x 10⁻⁴ J en su fuerza, clasificándose como una variedad de gluten fuerte y en su relación tenacidad-extensibilidad, presentó un valor PL= 1.1, clasificándose como de gluten balanceado, su masa fuerte-balanceada le permitió obtener valores de volumen de pan mayores a 850 ml, superando a todas las variedades testigo (Cuadro 3). Fuertemayo F2016 es apropiada para la industria de la panificación mecanizada y se puede utilizar para mejorar harinas de masa débil y tenaz.

Cuadro 3. Características de calidad industrial de Fuertemayo F2016 y variedades testigo en condiciones de riego.

Genotipo	PHL	DG	PH	W	PL	VP
Fuertemayo F2016	79.2	50	11.7	350	1.1	865
Borlaug 100 F2014	78.7	46	10.7	334	1	840
Villa Juárez F2009	77	42	10.4	342	1.3	734
Roelfs F2007	76.8	45	10.5	364	1	787
Kronstad F2004	75.5	40	11.7	426	1	827

PHL= peso hectolítrico; DG= dureza de grano (%); PH= proteína en harina (%); W= fuerza de la masa (10-4J); PL= relación tenacidad-extensibilidad; VP= volumen de pan (ml).

Ámbito de recomendación

La variedad Fuertemayo F2016 se recomienda para su cultivo en condiciones de riego normal y riego limitado durante el ciclo otoño-invierno para los estados de Sinaloa, Baja California, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Guanajuato y Michoacán, con el fin de obtener los mejores resultados con la siembra de esta variedad. Para los estados del noroeste, norte y noreste, Fuertemayo F2016 se recomienda en fechas de siembras tempranas a tardías, mientras que para los estados que conforman El Bajío se recomienda para siembras tempranas a intermedias.

Esta nueva variedad cuenta con el registro TRI-180-090318 en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y el Título de Obtentor Núm. 1930. El programa de trigo del INIFAP-CEVAMEX resguarda y pone a disposición de los interesados la semilla en su categoría básica.

Conclusiones

Fuertemayo F2016 es una variedad liberada por el Programa de Trigo del INIFAP, recomendada para siembras de riego normal y riego limitado en el Noroeste, Norte, Noreste y El Bajío. Es resistente a royas y cumple con la calidad demandada por la industria de la panificación. Su siembra permitirá enriquecer el mosaico genético de variedades recomendadas por el INIFAP, para evitar la aparición de nuevas razas fisiológicas de royas en México.

Agradecimientos

Al programa de Trigos Harineros del CIMMYT y a los proyectos denominados: 1) sistema de mejoramiento genético para generar variedades resistentes a royas, de alto rendimiento y alta calidad para una producción sustentable de trigo en México (SAGARPA-CONACYT); y 2) identificación por parte de INIFAP de nuevas líneas con interés para la cadena de valor de trigo.

Literatura citada

Ávila-Quezada, G. D.; Esquivel-Fidencio, J. F.; Silva-Rojas, H. V.; Leyva-Mir, S. G.; García-Ávila, C. de J.; Noriega-Orozco, L.; Rivas-Valencia, P.; Ojeda-Barrios, D. and Melgoza-Castillo, A. M. 2018. Emerging plant diseases under a changing climate scenario: threats to our global food supply. *Emirates J. Food Agric.* 30(6):443-450. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i6.1715>.

- CONAGUA. 2015. Comisión Nacional del Agua. Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican. Diario Oficial. Segunda Sección. Poder Ejecutivo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5389380&fecha=20/04/2015.
- FAO. 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops. Rome, Italy. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Herrera-Foessel, S. A.; Singh, R. P.; Huerta-Espino, J.; Rosewarne, G. M.; Periyannan, S. K.; Viccars, L.; Calvo-Salazar, V.; Lan, C. and Lagudah, E. S. 2012. Lr68: a new gene conferring slow rusting resistance to leaf rust in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 124(8):1475-1486. <https://doi.org/10.1007/s00122-012-1802-1>.
- Huerta-Espino, J.; Singh R. P.; Germán, S.; McCallum, B. D.; Park, R. F.; Chen, W. Q.; Bhardwaj, S. C. and Goyeau, H. 2011. Global status of wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. *Euphytica.* 179(1):143-160. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0361-x>.
- Lan, C.; Li, Z.; Herrera, F. S. A.; Huerta, E. J.; Basnet, B. R.; Dreisigacker, S.; Ren, Y.; Lagudah, E. and Singh, R. P. 2019. Identification and mapping of two leaf rust adult plant resistance genes in durum wheat. *Mol. Breed.* 39(118):1-11. <https://doi.org/10.1007/s11032-019-1024->.
- Randhawa, M. S.; Lan, C.; Basnet, B. R.; Bhavani, S.; Huerta-Espino, J.; Forrest, K. L.; Hayden, M. J. and Singh, R. P. 2018. Interactions among genes Sr2/Yr30, Lr34/Yr18/Sr57 and Lr68 confer enhanced adult plant resistance to rust diseases in common wheat (*Triticum aestivum* L.) line Arula. *Australian J. Crop Sci.* 12(6):1023-1033. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.06.PNE1305>.
- Rodríguez, G. M. F.; García, L. E.; Huerta, E. J.; Villaseñor, M. H. E., Llaven, V. G. y González, G. M. 2020. Razas fisiológicas de *Puccinia triticina* E. identificadas en el norte de Sinaloa y resistencia de germoplasma. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 11(8):1971-1977. Doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2574>.
- SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap/>.
- Singh, R. P.; Singh, P. K.; Rutkoski, J. E.; Hodson, D. P.; Xinyao, H.; Jorgensen, L. N.; Hovmoller, M. S. and Huerta-Espino, J. 2016. Disease impact on wheat yield potential and prospects of genetic control. *Annu. Rev. Phytopathol.* 54(1):303-322. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080615-095835>.