

Don Carlos M2015: nueva variedad de trigo harinero con amplia adaptación para siembras de temporal en México

Héctor Eduardo Villaseñor Mir¹

Julio Huerta Espino¹

René Hortelano Santa Rosa¹

Ernesto Solís Moya²

Eliel Martínez Cruz^{1§}

Leodegario Osorio Alcalá³

María Florencia Rodríguez García¹

Eduardo Espitia Rangel¹

¹Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250. (villasenor.hector@inifap.gob.mx; huerta.julio@inifap.gob.mx; hortelano.rene@inifap.gob.mx; rodriguez.maria@inifap.gob.mx; espitia.eduardo@inifap.gob.mx). ²Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato. (solis.ernesto@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca-INIFAP. Melchor Ocampo núm. 7, Santo Domingo Barrio Bajo, Etna, Oaxaca. (osorio.leodegario@inifap.gob.mx).

§Autor para correspondencia: martinez.eliel@inifap.gob.mx.

Resumen

Una alternativa para enfrentar la problemática biótica y abiótica en las zonas trigueras de temporal en México, es el uso de variedades mejoradas que minimicen sus efectos negativos. Resultado del proceso de mejoramiento genético del programa de trigo de temporal del INIFAP, se pone a disposición la nueva variedad de trigo harinero panificable Don Carlos M2015. Los progenitores que le dieron origen a la variedad fueron la línea experimental BABAX*2/PRL y la variedad Tlaxcala F2000; posteriormente se realizó la selección hacia homocigosis a través del método masivo. Como línea avanzada, Don Carlos M2015 se evaluó en 79 localidades en 11 estados de México en condiciones de temporal de 2012 a 2015, en donde superó el rendimiento de las 11 variedades testigo con que se comparó 9% (Altiplano F2007) hasta 30% (Nana F2007), comportamiento similar en condiciones favorables, intermedias y críticas de producción. En ese periodo de evaluación Don Carlos M2015 fue moderadamente resistente a royas y tolerante al complejo de enfermedades foliares, superando a las variedades testigo. Cuando se evaluó con y sin protección de fungicidas, los tizones y manchas foliares afectaron el rendimiento 18% y la roya amarilla 16%, mientras a las variedades testigo afectaron hasta 36% y 54%, respectivamente. Por su combinación de grano duro, masa media fuerte y extensible, Don Carlos M2015 es adecuada para panificación en la industria semimecanizada o manual y como mejoradora de masas tenaces y fuertes en la industria mecanizada. Por lo anterior, Don Carlos M2015 es una nueva opción para agricultores de zonas productoras de trigo de temporal en México.

Palabras clave: mayor rendimiento, tolerancia a enfermedades, trigo harinero, variedad nueva.

Recibido: septiembre de 2018

Aceptado: octubre de 2018

En México se consumen anualmente 5.7 millones de toneladas de trigo panificable (*Triticum aestivum* L.) y se producen solamente 1.7 millones de toneladas, por lo que se deben de importar cerca de 4 millones para surtir la demanda nacional. Estados Unidos de Norteamérica es el principal exportador de trigo a México y en segundo lugar se ubica Canadá (CANIMOLT, 2016). Una alternativa para reducir las importaciones es incrementar la superficie sembrada, en las áreas irrigadas es difícil aumentarla, porque el trigo compite con cultivos más rentables, bajo temporal se tiene buena perspectiva para incrementar la superficie y la producción, ya que durante el verano el trigo es más rentable en tierras en donde no es conveniente sembrar maíz (Villaseñor y Espitia, 2000) y porque el trigo producido en los temporales de la región centro de México es más competitivo por concepto de flete que el cosechado en el noroeste o que el importado (Fuentes, 2008).

Una opción para mejorar la rentabilidad, aumentar la producción nacional y evitar las importaciones, es la siembra de variedades nuevas con alto potencial de rendimiento en zonas de producción de temporal cercanas a los centros de molienda, por lo que la producción en los estados de Oaxaca, Puebla, Tlaxcala, México, Hidalgo y Guanajuato son buena opción debido a su cercanía a la zona centro del país, principal centro de molienda de México (CANIMOLT, 2016). Es importante indicar que existe en dichos estados un potencial de rendimiento de 2.1 a 4.8 t ha⁻¹ en función de la localidad y la variedad utilizada (Hortelano *et al.*, 2016), de tal manera que las variedades de trigo harinero de temporal deben conjuntar alto potencial de rendimiento, tolerancia a enfermedades foliares y royas, tolerancia a sequía y la calidad demandada por la industria nacional.

De acuerdo con lo anterior y como resultado del proceso de mejoramiento genético por parte del programa de trigo de temporal del INIFAP-CEVAMEX, el instituto pone a disposición de los productores de trigo de México la variedad Don Carlos M2015, que permitirá enfrentar la problemática biótica y abiótica de las zonas trigueras de temporal del país.

Obtención de la variedad y características

La variedad de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) Don Carlos M2015 es de hábito de primavera y la línea experimental fue obtenida en el programa de mejoramiento genético de trigo de temporal del INIFAP-CEVAMEX, posteriormente esa línea se evaluó en los viveros y ensayos nacionales de rendimiento de trigo de temporal que implementa año con año el indicado programa. La línea se obtuvo por hibridación, en donde se realizó una cruce simple entre la línea experimental BABAX*2/PRL y la variedad Tlaxcala F2000 y posteriormente se desarrolló la selección hacia homocigosis a través del método masivo.

La cruce simple entre sus dos progenitores se produjo en el ciclo otoño-invierno (O-I) 2001-2002 en Chapingo, Estado de México y se identificó con el número TC020537, la que fue sembrada en su generación F₁ también en Chapingo, Estado de México durante el ciclo primavera-verano (P-V) 2002 bajo condiciones de temporal regular y se cosechó masivamente. La generación F₂ fue sembrada en Roque, Guanajuato en el ciclo O-I 2002-2003 bajo condiciones de riego limitado (un riego de auxilio) y se cosechó masivamente (OR). La generación F₃ se evaluó en Chapingo, Estado de México durante el ciclo P-V 2003 bajo condiciones de temporal regular y se cosechó masivamente la población (OC).

La generación F₄ fue sembrada en Roque, Guanajuato en el ciclo O-I 2003-2004 bajo condiciones de riego normal (tres riegos de auxilio) y se cosechó masivamente la población (OR). En su generación F₅ la población fue sembrada en Chapingo, Estado de México bajo condiciones de temporal favorable en el ciclo P-V 2004 en donde fue seleccionada y cosechada individualmente la planta núm. 16 (16C), esta planta fue sembrada en su generación F₆ en Roque, Guanajuato en el ciclo O-I 2004-05 bajo condiciones de riego normal, y en donde se cosechó masivamente (OR).

Su genealogía y pedigrí son los siguientes:

BABAX*2/PRL//TLAXCALA

TC-020537-0R-0C-0R-16C-0R

La indicada línea experimental se evaluó durante el ciclo P-V 2005 en la prueba preliminar de rendimiento (PPR) en cuatro localidades de los estados de Tlaxcala y México, posteriormente durante el ciclo P-V 2006 se evaluó en el vivero nacional de selección de trigo de temporal (VSTHT). A partir del verano de 2007 a 2011 se probó en los ensayos nacionales de rendimiento de trigo de temporal (ERTHT) en cerca de 60 ensayos diferentes y comparada contra las variedades Tlaxcala F2000, Náhuatl F2000, Juchi F2000 y Rebeca F2000, a las que superó en rendimiento de grano, a partir de 2012 hasta 2015 se decidió comparar a la línea experimental contra las 11 variedades sembradas en las diferentes regiones productoras de trigo de temporal en México (información presentada en el Cuadro 4) y también sobresalió con respecto a las variedades testigo por su mayor rendimiento de grano en diferentes condiciones de producción de temporal y por su mayor resistencia a enfermedades.

Reacción a enfermedades

En el Cuadro 1 se presenta información agronómica y fitopatológica de Don Carlos M2015 y las variedades testigo, en donde se observa que esta nueva variedad llega a la madurez fisiológica en promedio a los 111 días, ubicándose dentro de los genotipos de ciclo intermedio; es resistente al acame y mostró resistencia a roya de la hoja, moderada resistencia a moderada susceptibilidad a roya amarilla y tolerancia al complejo de enfermedades foliares. Con respecto a su reacción a enfermedades, se ubicó como el genotipo con mayor resistencia a las dos royas y tolerante al complejo de enfermedades foliares, lo que la ubica desde el punto de vista fitopatológico, como la variedad más adecuada para siembras de temporal.

Don Carlos M2015, posee los genes de resistencia de raza específica a roya de la hoja Lr1, Lr10, Lr16, Lr17 y Lr23. Estos genes son efectivos en estado de plántula a las razas CBJ/QB, CBJ/QL, CBJ/QQ (Huerta-Espino y Singh, 1994), LCJ/BN, BBG/BP, TCT/QB, TBD/TM, TCB/TD, MCJ/QM y MFB/SP (Singh, 1991). Sin embargo, sólo el Lr16 es efectivo en plántula a las razas MBJ/SP y MCJ/SP, que son las más comunes en México desde su identificación en 1994 (Villaseñor *et al.*, 2003). En planta adulta, la resistencia de Don Carlos M2015, se basa en la acción de los genes Lr34, que confiere resistencia a la roya de la hoja y a otras enfermedades foliares (Krattinger *et al.*, 2009), y el gen Lr46.

Cuadro 1. Características agronómicas y fitopatológicas de Don Carlos M2015 y de variedades testigo en siembras de temporal.

Variedad	AP	A	RH	RA	F
Don Carlos M2015	90	R	0 a 10MR	10MR a 30MS	7/30 (T)
Altiplano F2007	92	T	0 a 15 MR	10MR a 30 MS	6/30 (T)
Nana F2007	91	T	15MR a 50 MS	30MS a 90S	7/30 (T)
Triunfo F2004	88	T	15MR a 30 MR	10MR a 70S	7/30 (T)
Náhuatl F2000	90	T	0 a 40MR	15MR a 60MS	7/80 (MS)
Tlaxcala F2000	87	T	10MR a 40MR	10MR a 40MS	7/40 (MS)
Juchi F2000	85	T	10MR a 30MR	20MS a 80S	7/40 (T)
Rebeca F2000	90	R	20MR a 50MS	10MR a 50MS	6/30 (MR)
Batán F96	84	T	40MS a 80S	20MR a 60MS	7/40 (T)
Romoga F96	87	S	10MR a 40MR	10MR a 40MS	7/60 (MS)

AP= altura de planta (cm); A= acame; R= resistente T= tolerante; reacción a roya de la hoja (RH) y roya amarilla (RA) es la lectura mínima y máxima observada durante cinco años; S= susceptible; MR= moderadamente resistente; MS= moderadamente susceptible; reacción a enfermedades foliares (F) es la lectura máxima observada en ambientes lluviosos en donde se presentó el complejo de enfermedades causado por *Septoria tritici*, *S. nodorum*, *Phyrenophora tritici-repentis* y *Cochliobolus sativus*.

Don Carlos M2015, es susceptible en plántula a la raza de roya amarilla CMEX14.25 una de las que vencieron la resistencia de Nana F2007 durante el 2014. Sin embargo, los bajos grados de severidad registrados en la variedad Don Carlos M2015 en campo (menores de 30%) cuando se realizan inoculaciones artificiales con los aislamientos CMEX14.25, MEX14.141 y MEX14.146 (identificados durante 2014 que vencieron la resistencia de Nana F2007 y combinan virulencia para los genes Yr2, Yr3, Yr6, Yr7, Yr8, Yr9, Yr17, Yr27 y Yr31 entre otros), indican que la nueva variedad basa su resistencia a roya amarilla en por lo menos tres genes de enroyamiento lento en planta adulta, dos de ellos Yr18 y Yr29, el primero con efecto pleiotrópico a Lr34 y el segundo a Lr46 (William *et al.*, 2003), ambos asociados con la quemadura de la punta de la hoja.

Las pérdidas en rendimiento de grano debido a la incidencia de enfermedades foliares y roya amarilla registradas en estudios con el control y sin el control de las enfermedades en la variedad Don Carlos M2015 y las variedades testigos Altiplano F2007, Tlaxcala F2000 y Nana F2007 se presentan en los Cuadros 2 y 3, donde se observa que en esta variedad se registraron pérdidas de 18% y 16%, respectivamente, las que fueron menores a las registradas en las variedades testigo.

Cuadro 2. Pérdidas en rendimiento de grano causado por el complejo de enfermedades foliares a Don Carlos M2015 y variedades testigo evaluadas en tres localidades de temporal.

Variedad	DF		DM		EF (%)		REND (kg ha ⁻¹)		Pérdidas (%) (kg ha ⁻¹)
	SF	CF	SF	CF	SF	CF	SF	CF	
Don Carlos M2015	67	69	130	134	73	40	5785	7021	-18
Altiplano F2007	72	73	135	140	70	35	5597	6965	-20
Tlaxcala F2000	70	71	130	134	85	38	4938	6472	-24
Nana F2007	66	67	126	133	98	43	4313	6771	-36

DF= días a floración; DM= días a madurez; REND= rendimiento de grano; EF= incidencia del complejo de enfermedades foliares.

Cuadro 3. Pérdidas en rendimiento de grano causado por la incidencia de roya amarilla en la variedad Don Carlos M2015 y variedades testigo evaluadas en cuatro localidades de temporal.

Variedad	DF		DM		RAH		RAE		REND (kg ha ⁻¹)		Pérdidas (%) (kg ha ⁻¹)
	SF	CF	SF	CF	SF	CF	SF	CF	SF	CF	
Don Carlos M2015	62	64	124	127	30	9	11	4	4374	5198	-16
Altiplano F2007	66	67	127	131	36	10	14	5	3846	4798	-20
Tlaxcala F2000	63	65	124	128	50	14	18	4	3627	4761	-24
Nana F2007	59	62	118	125	79	16	34	8	2320	4874	-54

DF= Días a floración; DM= días a madurez; RA= incidencia de roya amarilla; H= hoja; E= espiga; REND= rendimiento de grano.

Potencial de rendimiento

En el Cuadro 4 se presenta la comparación de rendimiento de grano de Don Carlos M2015 y las variedades testigo, en donde se observa que superó el rendimiento en general de todas las variedades testigo de 9.5% (Altiplano F2007) hasta 30.6% (Nana F2007); cabe destacar el hecho de que solamente la variedad Altiplano F2007 compitió con la nueva variedad.

Cuadro 4. Comparación en el rendimiento de grano de Don Carlos M2015 y variedades testigo en diferentes ambientes de temporal del 2012 al 2015.

Variedad	G* (79 L)		AF (24 L)		AI (25 L)		AC (30 L)	
	(kg ha ⁻¹)	(%D)	(kg ha ⁻¹)	(%D)	(kg ha ⁻¹)	(%D)	(kg ha ⁻¹)	(%D)
Don Carlos M2015	2970	-	4263	-	3040	-	1912	-
Altiplano F2007	2687	-9.5	3848	-9.7	2802	-7.8	1682	-12
Rebeca F2000	2365	-20.4	3519	-17.4	2410	-20.7	1482	-22.5
Temporalera M87	2343	-21.1	3220	-24.5	2423	-20.3	1608	-15.9
Romoga F96	2325	-21.7	3159	-25.9	2487	-18.2	1527	-20.1
Tlaxcala F2000	2248	-24.3	3184	-25.3	2296	-24.5	1463	-23.5
Triunfo F2004	2215	-25.4	2963	-30.5	2299	-24.4	1538	-19.5
Náhuatl F2000	2184	-26.5	3169	-25.7	2196	-27.8	1401	-26.7
Batán F96	2150	-27.6	2887	-32.3	2280	-25	1462	-23.5
Gálvez M87	2139	-28	3032	-28.9	2165	-28.8	1431	-25.2
Juchi F2000	2117	-28.7	2870	-32.7	2217	-27.1	1440	-24.7
Nana F2007	2062	-30.6	2936	-31.1	2024	-33.4	1447	-24.3

G*= localidades en general, Estado de México (Chapingo, Santa Lucía, Axapusco, Coatepec, Tenango del Aire Juchitepec, Amecameca y Tlalmanalco), Tlaxcala (Soltepec, Nanacamilpa, Teacalco, Velasco, Terrenate, Huamantla, San Diego Ameca, Veloz y Fco. I. Madero), Hidalgo (Chimalpa), Puebla (Libres, Texcal y La Concepción), Guanajuato (Roque), Oaxaca (Sinaxtla, Semoax, Yanhuatlán y Santiago Tillo), Chihuahua (Carbajales y Páramo), Aguascalientes (Pabellón y Sandoval), Durango (Fco. I. Madero y Valle de Guadiana) y Zacatecas (Calera). L= localidad; %D= porcentaje de diferencia respecto a Don Carlos M2015; AF, AI y AC= ambientes favorables, intermedios y críticos, respectivamente.

En condiciones de ambientes favorables Don Carlos M2015 también superó a todas las variedades testigo con diferencias que fueron de 9.7% (Altiplano F2007) hasta 30.5, 31.1, 32.3 y 32.7% con las variedades Triunfo F2004, Nana F2007, Batán F96 y Juchi F2000. En ambientes intermedios, las diferencias con los testigos variaron de 7.8% (Altiplano F2007) hasta 27.1, 27.8, 28.8, 33.4% con las variedades Juchi F2000, Náhuatl F2000, Gálvez M87 y Nana F2007, respectivamente. En condiciones de ambientes críticos Don Carlos M2015 presentó un comportamiento similar a las otras condiciones, ya que superó en rendimiento a todas las variedades testigo, aunque en esta condición, las diferencias fueron 12% (Altiplano F2007) hasta 24.3, 24.7, 25.2, 26.7% con las variedades Nana F2007, Juchi F2000, Gálvez M87 y Náhuatl F2000.

Calidad industrial

Don Carlos M2015 se caracteriza por presentar pesos hectolítricos mayores a 75 kg hL^{-1} , similares a las variedades testigo Altiplano F2007 y Náhuatl F2000. Su grano es de color rojo y por su dureza se clasifica como de grano duro por sus porcentajes menores a 47%. Debido a sus valores de fuerza (W) de la masa entre 200 y $300 \times 10^{-4} \text{ J}$ se clasifica como de gluten medio y por su relación entre la tenacidad y extensibilidad ($PL < 1$) menor a la unidad es de masa extensible lo cual combinado con su grano de textura dura le permite obtener volúmenes de pan buenos con valores de 800 mL, similares a la variedad testigo Altiplano F2007. La harina de esta variedad es adecuada para panificación en la industria semimecanizada o manual y como mejoradora de masas tenaces y fuertes en la industria mecanizada.

Conclusiones

Don Carlos M2015 es una variedad que se adapta a todas las regiones productoras de trigo de temporal en México, ya que es de amplia adaptación que se puede sembrar en ambientes favorables o lluvioso (más de 500 mm), intermedios o medio lluviosos (entre 300 a 500 mm) y críticos o erráticos (menos de 300 mm) en los estados de Oaxaca, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, México, Guanajuato, Jalisco, Zacatecas, Durango y Chihuahua.

Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto: ‘Sistema de mejoramiento genético para generar variedades resistentes a royas, de alto rendimiento y alta calidad para una producción sustentable de trigo en México’. Núm. 146788. Fondo SAGARPA-CONACYT, por el financiamiento parcial de la presente investigación.

Literatura citada

- CANIMOLT. 2016. Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo. Reporte estadístico al 2015-2016. <https://drive.google.com/file/d/0Bws40FQdCiaSTGxUQmgtR2JjbEU/view>.
- Fuente, P. J. L. 2008. ¿Quiénes somos? La industria molinera de trigo en México. Rev. CANIMOLT 1(1):4-10.
- Hortelano, S. R. R.; Espitia, R. E.; Martínez, C. E.; Villaseñor M. H. E.; Huerta, E. J. y Mariscal, A. L. A. 2016. Productividad y calidad industrial de trigos harineros en relación a enfermedades. Agrocienca. 50(8):1027-1039.

- Huerta-Espino, J. and Singh, R. P. 1994. First report of virulence for wheat leaf rust resistance gene Lr19 in Mexico. *Plant Dis.* 78(6):640-645.
- Krattinger, S. G.; Lagudah, E. S.; Spielmeyer, W.; Singh, R. P.; Huerta-Espino, J.; McFadden, H.; Bossolini, E.; Selter, L. L. and Keller, B. 2009. A putative ABC transporter confers durable resistance to multiple fungal pathogens in wheat. *Sci.* 323(5919):1360-1363.
- Singh, R. P. 1991. Pathogenicity variations of *Puccinia recondita* f.sp.*tritici* and *P. graminis* f.sp.*tritici* in wheat-growing areas of Mexico during 1988 and 1989. *Plant Dis.* 75(8):790-794.
- Villaseñor, E. O. M.; Huerta, E. J.; Leyva, M. S. G.; Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2003. Análisis de virulencia de la roya de la hoja (*Puccinia triticina* Ericks.) del Trigo (*Triticum aestivum* L.) en Los Valles Altos de México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 21(1):56-62.
- Villaseñor, M. H. E y Espitia, R. E. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal. Problemática y condiciones de producción. In: Villaseñor, M. H. E y Espitia, R. E. (Eds.) El trigo de temporal en México. SAGAR, INIFAP, CIR-CENTRO y CEVAMEX. México. 85-98 pp.
- William, M. R.; Singh, R. P.; Huerta, E. J.; Ortiz, I. J. and Hoisington, D. 2003. Molecular marker mapping of leaf rust resistance gene Lr46 ant its association with stripe rust resistance gene Yr29 in wheat. *Phytopathol.* 93(2):153-159.