

‘San Blas’: variedad de frijol Negro Opaco resistente a BCMV y BCMNV para Nayarit y El Bajío de Guanajuato

Jorge Alberto Acosta-Gallegos¹
Yaneth Jiménez-Hernández¹
Nadia Carolina García-Álvarez²
Manuel Rojas-Tovar³
Elizabeth Chiquito-Almanza³
José Luis Anaya-López^{1§}

¹Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato. CP. 38110. (acosta.jorge@inifap.gob.mx; jimenez82@gmail.com). ²Campo Experimental Santiago Ixcuintla-INIFAP. Carretera Internacional México-Nogales km 6, Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. CP. 63300. (garcia.nadia@inifap.gob.mx). ³Investigadora independiente. (manuel.rojas.agronomo@gmail.com; ely_sayra@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: anaya.jose@inifap.gob.mx.

Resumen

Se describe una nueva variedad de frijol, ‘San Blas’, cuyas características principales son su tipo de grano de alta demanda en México y su resistencia al virus del mosaico común del frijol (BCMV) y al virus del mosaico y la necrosis común de frijol (BCMNV), ya que posee la combinación de genes *II + bc-3*. San Blas se derivó de la cruce entre Jamapa Plus/XRAV-187-3. La selección final de la línea que dio origen a San Blas se realizó por inoculación con la cepa necrótica BCMNV NL-3, y la genotipificación con los marcadores moleculares (MMs) SW13 y ENM, asociados a los genes *II* y *bc-3*, respectivamente. La planta de San Blas es de hábito indeterminado semierecta tipo II, con flores de color lila-morado, vainas color paja en madurez y grano negro opaco, de forma ovalada y tamaño pequeño similar al de Jamapa. En El Bajío, su floración y madurez fisiológica ocurren alrededor de los 45 y 92 días después de la siembra (dds); mientras que en Nayarit a los 40 y 80 dds, respectivamente. Después de la selección con MMs e inoculación, el rendimiento promedio de San Blas en seis ambientes diversos en Guanajuato fue de 1841 kg ha⁻¹, 12% más que el de Negro 8025; mientras que en tres ambientes de humedad residual en Nayarit fue de 1927 kg ha⁻¹, superando a las variedades Jamapa y Coranay en 50 y 36%, respectivamente.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., humedad residual, resistencia a virus BCMV y BCMNV.

Recibido: julio de 2020

Aceptado: agosto de 2020

El frijol de grano Negro Opaco de raza Mesoamericana, tiene amplia distribución en las áreas tropicales del México (FIRA, 2016). Su alta demanda en el país justifica su importación en grandes volúmenes y la necesidad de contar con diferentes variedades que impulsen la producción de este tipo de grano. En Nayarit y otras regiones productoras, por desconocimiento de las diversas variedades que se han desarrollado dentro de este tipo de frijol, aún se utiliza la variedad Jamapa, de la cual probablemente solo queda el nombre, ya que la versión actual es muy diferente a la original descrita por Cárdenas-Ramos y Velo (1964).

Los virus BCMV y BCMNV, producen las enfermedades de mosaico común y la raíz negra del frijol, estas además del virus del mosaico dorado amarillo del frijol (BGYMV), que produce la enfermedad del mosaico dorado amarillo del frijol, afectan significativamente la producción del frijol en Nayarit y otras áreas tropicales del país (Chiquito-Almanza *et al.*, 2014; Chiquito-Almanza *et al.*, 2017), mientras que BCMV y BCMNV afectan principalmente al cultivo en la región del Bajío (Chiquito-Almanza *et al.*, 2017). La mejor estrategia contra estas enfermedades es usar semilla sana de variedades resistentes (Acosta-Gallegos *et al.*, 2016).

La variedad dominante de frijol negro en el estado de Nayarit es Jamapa (FIRA, 2016), que podría considerarse obsoleta, sin embargo, su fama le antecede. En Guanajuato la única variedad de frijol de tipo Negro Opaco utilizada en baja escala es Negro 8025. El Bajío junto con Nayarit, podrían contribuir a la producción de frijol negro para lograr la autosuficiencia. Para lo cual es necesario desarrollar variedades de alto rendimiento, tolerantes a las enfermedades y adaptadas a las condiciones de ambas regiones.

Origen y proceso de obtención

‘San Blas’ se originó de la cruce simple Jamapa Plus/XRAV-187-3 realizada en 2010 en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del INIFAP (Cuadro 1). La variedad Jamapa Plus se utilizó como progenitor por su amplia adaptación al trópico húmedo y El Bajío y por poseer grano de alta aceptación comercial; la línea XRAV-187-3 se usó como fuente de resistencia a BCMV, BCMNV. Jamapa Plus se derivó a través de selección masal de la variedad Jamapa bajo presión de un complejo viral en condiciones de campo (Comun. Pers. Ernesto López Salinas CECOT-INIFAP, 2010).

Cuadro 1. Proceso de desarrollo de la variedad de frijol ‘San Blas’ de tipo Negro Opaco.

Año	Actividad	Observaciones
2010 R y T	Cruza Negro Jamapa Plus / XRAV-187-3	Cruza y avance de F ₁ en invernadero y de F ₂ en campo en el CEBAJ
2011 R	Siembra de población F ₃	Selección de plantas sanas en condiciones de campo con alta incidencia de raíz negra
2011 T	Siembra de familias F ₄ resistentes	Surco por familia, y en etapa de madurez fisiológica se realizó selección entre y dentro de surcos por sanidad y carga de vainas

Año	Actividad	Observaciones
2012 R y T	Siembra de F ₅ y F ₆	Surco por familia, y en madurez fisiológica selección entre y dentro de surcos por sanidad y carga de vainas
2012/2013 y 2013 R	Siembra de selecciones individuales F ₆	Avance de generación para obtener F ₇ y F ₈
2013 T	Siembra de familias uniformes F ₈	Siembra de ensayo preliminar de rendimiento en Guanajuato, Veracruz y Chiapas
2013/2014 R	Siembra de líneas F ₉	Siembra de ensayo preliminar en Nayarit (OI)
2015/2016	Selección de líneas F ₁₀	Depuración de línea por su resistencia a la inoculación con BCMNV NL-3, y la presencia de MMs asociados a los genes <i>II</i> y <i>bc-3</i>
2016 T	Ensayo de rendimiento	Siembra en Guanajuato en el ciclo primavera-verano (PV) y en Nayarit (OI)
2017/2018 R	Ensayo de rendimiento y validación en Nayarit	Siembra en Guanajuato (PV) y Nayarit (OI), validación en tres localidades

R= riego; T= temporal.

La línea XRAV-187-3 se desarrolló de la cruce PR0003-124/Raven (Beaver *et al.*, 2014), Raven contiene los genes *II* y *bc-3* que confieren resistencia de amplio espectro a BCMV y BCMNV (Kelly *et al.*, 1994). ‘San Blas’ fue obtenida por el método genealógico realizándose dos generaciones por año hasta su uniformización e inclusión en ensayos de rendimiento.

En las generaciones F₂ y F₄, bajo riego durante la época temprana del año, en el CEBAJ se seleccionaron plantas sanas bajo presión de BCMV y BCMNV en condiciones naturales de campo, lo cual se confirmó mediante transcripción reversa y reacción en cadena de la polimerasa (RT-PCR) siguiendo el protocolo descrito por Chiquito-Almanza *et al.* (2017). Posteriormente se realizó selección individual en las generaciones F₅ y F₆.

En 2013 las líneas F₈ se evaluaron en Guanajuato bajo temporal y presencia natural de enfermedades como roya, cenicilla, mosaico común, tizón común y tizón de halo. Durante el ciclo otoño-invierno (OI) 2013/14 el ensayo se estableció en Nayarit, la línea (Jamapa Plus/XRAV-187-3)-M-M-9-M-3, que dio origen a ‘San Blas’, mostró resistencia en campo a los virus BCMV y BCMNV. En 2015 junto con otros 70 genotipos de frijol, se fenotipificó mediante la inoculación artificial con la cepa BCMNV NL-3 en las instalaciones del CEBAJ bajo condiciones de contención en invernadero y se genotipificó con los marcadores moleculares (MMs) SW13 (Melotto *et al.*, 1996) y ENM (Naderpour *et al.*, 2010), asociados a los genes de resistencia *I* y *bc-3*, respectivamente, siguiendo la metodología descrita por Anaya-López *et al.* (2018). Del 2016 al 2019, la línea que dio origen a la variedad ‘San Blas’ fue evaluada en Guanajuato y Nayarit. En el Cuadro 1 se sintetiza el desarrollo de la variedad ‘San Blas’.

Características agronómicas de la variedad San Blas

La planta de San Blas es de hábito indeterminado semierecta tipo II, con flores de color lila-morado, hojas de tamaño medio verde oscuro, vainas color paja en madurez y grano similar a Jamapa, de color negro opaco y tamaño pequeño. En El Bajío, su floración y madurez fisiológica ocurre alrededor de los 45 y 92 días después de la siembra, respectivamente (Cuadros 2 y 4), mientras que en Nayarit a los 40 y 80 dds, respectivamente (Cuadro 4). El rendimiento promedio de San Blas en seis ambientes diversos en Guanajuato fue de 1841 kg ha⁻¹, 12% más que Negro 8025; mientras que en tres ambientes diversos en Nayarit fue de 1927 kg ha⁻¹, 50 y 36% más que Jamapa y Coranay (Cuadro 4).

En el ciclo de temporal de 2013 en el CEBAJ, Celaya se presentó alta presión de tizón común, tizón de halo, cenicilla y roya. Con excepción de la línea experimental (Jamapa Plus/XRAV-187-3)-M-4-10 y las variedades Jamapa Plus y Negro Guanajuato, la variedad San Blas, tuvo valores de rendimiento ligeramente superiores al promedio de los demás materiales, en peso de 100 semillas su valor fue similar a todos los materiales y mostró menores valores de reacción a las enfermedades ocurridas en forma natural (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de características agronómicas y respuesta a enfermedades de follaje de ‘San Blas’ con siete genotipos de frijol negro opaco establecidos bajo temporal en 2013 en Celaya, Guanajuato.

Genotipo	Rend	P100S	DF	MDZ	TC	TH	C	RY
(Jamapa Plus/XRAV-187-3)-M-4-10	2295	22.8	44	89	3	4	2	1
(Jamapa Plus/XRAV-187-3)-M-2-8	1507	23.3	47	93	4	4	2	2
San Blas	1941	24.6	44	92	2	3	2	1
Negro Comapa	1490	24.9	47	93	3	3	3	1
Verdín	1765	28.3	40	86	2	2	2	2
Jamapa Plus	2047	23.2	45	95	3	4	2	1
Negro Guanajuato	2052	23.6	48	95	3	3	1	1
Negro 8025	1928	23.1	46	93	4	3	2	2
Promedio	1831	24.4	46	91	3	3	2	2

Rend= rendimiento (kg ha⁻¹); P100S= peso de 100 semillas (g); TC= reacción a tizón común; TH= reacción a tizón de halo; C= reacción a cenicilla; RY= reacción a roya en la escala de 1 a 9 (Shoohoven y Pastor-Corrales, 1987); DF= días a floración; MDZ= días a la madurez.

Con respecto a la incidencia de virus causantes de raíz negra, Verdín, Jamapa, Negro Guanajuato y Negro 8025 mostraron un bajo porcentaje de plantas infectadas, mientras que San Blas y demás líneas hermanas no fueron afectadas. Para tizón común, la línea (Jamapa Plus/XRAV-187-3)-M-2-8 y la variedad Negro 8025 mostraron la mayor incidencia. Para tizón de halo, la línea (Jamapa Plus/XRAV-187-3)-M-4-10 y Jamapa Plus mostraron la mayor incidencia. Para Cenicilla sólo Negro Comapa mostró un valor arriba de tres y para roya solo (Jamapa Plus/XRAV-187-3)-M-4-10. En días la floración y madurez, Verdín mostró el menor número, mientras que Jamapa Plus y Negro Guanajuato fueron las más tardías.

En la evaluación de San Blas y Negro 8025 en Celaya, Guanajuato bajo tres tratamientos de fertilización durante el ciclo PV 2017 en condiciones de temporal más un riego suplementario a la floración, el mayor rendimiento promedio correspondió a San Blas (Cuadro 3); este resultado en parte se debió a la característica de resistencia a los virus BCMV y BCMNV de San Blas, ya que no mostró incidencia de mosaico común ni raíz negra bajo ningún tratamiento de fertilización, mientras que Negro 8025 mostró incidencia de raíz negra a través de tratamientos (>10%). A través, de variedades, la dosis media fue superior en rendimiento ($p < 0.01$) y las dosis sub-óptima y óptima mostraron un rendimiento similar. En cuanto al peso de 100 semillas, las dos variedades resultaron similares y estuvieron dentro del rango comercial aceptable para el grano de frijol de tipo Negro Opaco pequeño, similar al de la variedad Jamapa al que pertenecen (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimiento de la variedad ‘San Blas’ en condiciones de temporal en Celaya, Guanajuato 2017, bajo tres tratamientos de fertilización de base más aplicación foliar de macro y microelementos.

Fertilización	Negro 8025*		San Blas		Promedio	
	Rend	P100S	Rend	P100S	Rend	P100S
Sub-óptima	2142	21.3	2476	22.2	2237 b	21.7 a
Media	2443	20.9	3041	21.3	2642 a	21.5 a
Óptima	2024	20.3	2694	22.7	2309 ab	21.2 a
Promedio	2137 b	20.9 b	2737 a	22.1 a		

*= testigo de frijol negro opaco, fertilización sub-óptima 20-20-0 (N-P-K); fertilización media= 40-40-0; fertilización óptima= 60-60-10; con 0, 1 y 2 aplicaciones foliares completas de macro y microelementos en cada dosis, respectivamente. P100S= peso de 100 semillas (g); Rend= rendimiento (kg ha⁻¹). Valores con diferentes letras son diferentes ($p < 0.01$).

En condiciones de temporal y de riego en El Bajío, ocasionalmente San Blas resultó superior a Negro 8025, tanto en el peso de la semilla como en rendimiento (Cuadro 4). En cuanto a los días para iniciar la floración, en general San Blas inicia en menor tiempo que Negro 8025 y como la madurez es similar, San Blas presenta un periodo reproductivo de mayor duración.

En 2017 bajo temporal más un riego de auxilio se observó el máximo rendimiento de San Blas en la localidad, de 2731 kg ha⁻¹, mientras que el más bajo se obtuvo en la siembra atrasada del 2018 bajo temporal y bajo fuerte presión por chicharrita (*Empoasca kraemeri*).

En cuanto al peso de la semilla, San Blas y Negro 8025 resultaron similares. En promedio de seis ambientes diferentes, San Blas superó en 12% el rendimiento de Negro 8025 (Cuadro 4). En condiciones de humedad residual en el ciclo OI 2017/2018 en las localidades de Ruíz, Santiago Ixcuintla y San Blas, Nayarit; el rendimiento promedio fue de 1927 kg ha⁻¹, 50 y 36% más que la variedad Jamapa, y Coranay, respectivamente (Cuadro 4). San Blas mostró valores de 1 en la reacción al mosaico común y la raíz negra en escala de Shoonhoven y Pastor-Corrales (1987) a través de todas las localidades de prueba, mientras que las variedades testigo mostraron valores entre 2 y 4 (Cuadro 4), lo que confirmó la resistencia a BCMV y BCMNV de San Blas.

Cuadro 4. Características agronómicas y resistencia al mosaico común y la raíz negra de ‘San Blas’ en comparación con ‘Negro 8025’ en una localidad de El Bajío Guanajuatense, y con ‘Jamapa’ y ‘Coranay’ en tres localidades de Nayarit.

Año	Varietal	DF	DMZ	Rend	P100S	MC ^f	RN ^f
El Bajío, Guanajuato							
2016 T ^a	San Blas	50 a	92	1561 a	19.2 a	nd	nd
	Negro 8025	51 a	90	1569 a	19.3 a	nd	nd
2017 T ^a	San Blas	43 b	92	2731 a	22.1 a	1	1
	Negro 8025	47 a	91	2137 b	20.9 b	1	4
2018 R ^b	San Blas	42 b	97	1494 a	20.4 a	1	1
	Negro 8025	46 a	100	1525 a	20.9 a	1	3
2018 T ^c	San Blas	41 b	82 a	1242 a	25.8 a	1	1
	Negro 8025	47 a	82 a	1336 a	23.2 b	1	3
2019 R ^d	San Blas	40 b	96 b	2079 a	24.5 b	1	1
	Negro 8025	45 a	103 a	1217 b	26.7 a	1	3
Nayarit							
2017/2018 HR	Jamapa	48 b	101 b	963 c	18 ab	4 b	2 a
	Coranay	41 a	92 ab	1235 b	18 ab	3 b	1 a
	San Blas	40 a	80 a	1927 a	19 ab	1 a	1 a

DF= días a floración; MDZ= días a madurez; Rend= rendimiento (kg ha⁻¹); P100S= peso de 100 semillas (g); MC= reacción a mosaico común; RN= reacción a raíz negra, nd= no determinado; ^a= bajo temporal con riego suplementario en floración; ^b= bajo temperaturas superiores a 32 °C en la etapa reproductiva; ^c= en temporal bajo presión por *Empoasca kraemeri*; ^d= con riego de pre-siembra y dos riegos de auxilio; ^f= escala de 1 a 9 (Shoohoven y Pastor-Corrales, 1987). Valores con diferentes literales son diferentes ($p < 0.01$).

Conclusiones

La variedad ‘San Blas’ fue resistente a BCMV y BCMNV en todas las localidades de prueba. Esta es la primera variedad en México que incluye la combinación de genes de resistencia *I* y *bc-3*. En El Bajío, la variedad San Blas con rendimiento promedio de 1 841 kg ha⁻¹ resultó superior en 12% a Negro 8025. En Nayarit el rendimiento promedio fue de 1 927 kg ha⁻¹, 50 y 36% más alto que el de las variedades locales Jamapa y Coranay. Se puede contactar al primer autor para obtener muestras de semilla para propósitos de investigación o para utilizarse como progenitor dando los créditos correspondientes al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Agradecimientos

Al Fondo sectorial SAGARPA-CONACYT 2009 por financiar el proyecto S0007 2009-1 109621 y al INIFAP por financiar el proyecto número SIGI: 10242732533, con el que se desarrollaron las herramientas moleculares para identificar a los virus durante las evaluaciones de resistencia, y se estableció la estrategia para la selección asistida de variedades resistentes mediante marcadores moleculares.

Literatura citada

- Acosta-Gallegos, J. A.; García-Álvarez, N. C.; Chiquito-Almanza, E. y Anaya-López, J. L. 2016. El mosaico común y la raíz negra del frijol. Identificación de síntomas, manejo y su distribución en México. INIFAP-Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México. Folleto técnico núm. 31. 32 p.
- Anaya-López, J. L.; Garrido-Ramírez, E. R.; Chiquito-Almanza, E.; Tosquy-Valle, O. H.; Ibarra-Pérez, F. J. y López-Salinas, E. 2018. Identification of opaque black bean recombinant lines resistant to BCMV, BCMNV and BGYMV using molecular markers. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 9(3):601-614.
- Beaver, J. S.; Prophete, E. H.; Rosas, J. C.; Godoy-Lutz, G.; Steadman, J. R. and Porch, T. G. 2014. Release of 'XRAV-40-4' black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar. J. Agric. U. Puerto Rico. 98(1):83-87.
- Cárdenas-Ramos, F.; and Velo, G. 1964. Jamapa, una variedad mejorada de frijol para el trópico. In: 3^{ra}. Reunión del Proyecto Cooperativo Centro Americano de Mejoramiento de Frijol. Antigua, Guatemala. 35-38 pp.
- Chiquito-Almanza, E.; Acosta-Gallegos, J. A.; García-Álvarez, N. C.; Garrido-Ramírez, E. R.; Montero-Tavera, V.; Guevara-Olvera, L. and Anaya-López, J. L. 2017. Simultaneous detection of both RNA and DNA viruses infecting dry bean and occurrence of mixed infections by BGYMV, BCMV and BCMNV in the Central-west region of Mexico. Viruses. 9(63):1-13.
- Chiquito-Almanza, E.; Acosta-Gallegos, J. A.; García-Álvarez, N. C.; Cuellar, W.; Martínez-Martínez, T. O. and Anaya-López, J. L. 2014. Detection of virus damaging the dry bean crop in Nayarit, Mexico. J Chem Biol Phys Sci. 4(1):48-55.
- FIRA. 2016. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Panorama agroalimentario. frijol 2016. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200638/Panorama_Agroalimentario_Frijol_2016.pdf.
- Kelly, J. D.; Hosfield, G. L.; Varner, G. V.; Uebersax, M. A.; Haley, S. D. and Taylor, J. 1994. Registration of 'Raven' black bean. Crop Sci. 34(5):1406-1407.
- Melotto, M.; Afanador, L. and Kelly, J. D. 1996. Development of a SCAR marker linked to the *I* gene in common bean. Genome. 39(6):1216-1219.
- Naderpour, M.; Lund, O. S.; Larsen, R. and Johansen, E. 2010. Potyviral resistance derived from cultivars of *Phaseolus vulgaris* carrying *bc-3* is associated with the homozygotic presence of a mutated *eIF4E* allele. Mol Plant Pathol. 11(2):255-263.
- Shoonhoven, A. y Pastor-Corrales, M. A. 1987. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. CIAT. Cali, Colombia. 56 p.