

Rendimiento y resistencia al mosaico amarillo dorado de genotipos de frijol negro tropical

Oscar Hugo Tosquy-Valle¹
Bernardo Villar-Sánchez^{2§}
Francisco Javier Ibarra-Perez¹
José Luís Anaya-López³
Eduardo Raymundo Garrido-Ramírez²

¹Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba km 34.5, Medellín de Bravo, Veracruz, México. CP. 91700. (tosquy.oscar@inifap.gob.mx; ibarra.francisco@inifap.gob.mx). ²Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP. Carretera Ocozocoautla-Cintalapa km 3.0, Ocozocoautla, Chiapas, México. CP. 29140. (garrido.eduardo@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato, México. CP. 38000. (anaya.jose@inifap.gob.mx).

§Autor para correspondencia: villar.bernardo@inifap.gob.mx.

Resumen

En las áreas tropicales de Chiapas, México, la producción de frijol es afectada por el mosaico amarillo dorado, la sequía y la acidez de los suelos. El objetivo de esta investigación fue identificar genotipos de frijol resistentes al mosaico amarillo dorado, con mayor productividad que la variedad Negro Jamapa, comúnmente sembrada en Chiapas. En otoño-invierno de 2019-2020 se estableció un experimento en tres localidades del centro de Chiapas, se evaluaron 11 líneas y tres variedades de frijol negro, incluida Negro Jamapa. El diseño experimental fue bloques al azar con tres repeticiones. Se cuantificó la incidencia de mosaico amarillo dorado y el rendimiento de grano. Los datos de las tres localidades se analizaron de manera individual y combinada. También se realizaron análisis de correlación entre la incidencia de mosaico amarillo dorado y el rendimiento de los genotipos. El mosaico amarillo dorado redujo el rendimiento en los tres sitios de evaluación (Villa Corzo, $r = -0.562^*$; CECECH, $r = -0.757^{**}$ y El Gavilán, $r = -0.552^*$). La línea Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-1 mostró los mayores daños por esta enfermedad con una calificación promedio de incidencia de 6, significativamente superior al resto de los genotipos; en tanto que, las líneas: Negro Citlali/XRAV-187-3-1-6, Papaloapan/SEN 46-7-7 y Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4 y la variedad Verdín mostraron la mayor resistencia al mosaico amarillo dorado, con calificaciones de incidencia de entre 1.67 y 3.22, estadísticamente inferiores a la del testigo Negro Jamapa. Estos cuatro genotipos también obtuvieron rendimientos promedio significativamente sobresalientes (mayores a 934 kg ha^{-1}) y superiores al de Negro Jamapa.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., BGYMV, comportamiento productivo.

Recibido: marzo de 2022

Aceptado: julio de 2022

Introducción

Por su alta demanda comercial, en el sureste de México la mayoría de los agricultores siembran frijol de grano negro opaco (FIRA, 2016). Chiapas es uno de los productores más importantes, en 2019 en este estado se sembraron 114 612 ha, de las cuales 71 978 ha se cultivaron en el ciclo de verano, bajo temporal y el resto en el ciclo de otoño-invierno, con humedad residual, el rendimiento promedio en ambas condiciones fue menor a 600 kg ha⁻¹ (SIAP, 2020).

El bajo rendimiento observado es consecuencia de factores bióticos, abióticos, técnicos y socioeconómicos. Entre los bióticos destacan las enfermedades virales, particularmente el mosaico amarillo dorado provocado por el virus del mosaico amarillo dorado del frijol (BGYMV), que es transmitido por mosca blanca [*Bemisia tabaci* (Gennadius)]. Esta enfermedad se presenta desde 1977 en Veracruz, Chiapas, Yucatán, Tamaulipas y en las Huastecas (Cuéllar y Morales, 2006), tanto en las siembras de temporal, como de humedad residual, y puede provocar hasta 100% de pérdidas en el rendimiento cuando se presenta desde la fase vegetativa del cultivo (Villar *et al.*, 2003). El control de BGYMV se ha enfocado al desarrollo de variedades resistentes (Morales y Anderson, 2001; Soler-Garzón *et al.*, 2021).

Entre los factores abióticos se encuentran la ocurrencia frecuente de periodos de sequía terminal e intermitente, que dependiendo de su intensidad y magnitud, pueden provocar pérdidas de 20 hasta 100% del rendimiento de grano (Frahm *et al.*, 2003; López *et al.*, 2008), así como la siembra del frijol en suelos ácidos, que limitan el desarrollo de las plantas y el rendimiento, por una baja disponibilidad de nutrientes, principalmente de las bases cambiables calcio, magnesio y potasio (Villar *et al.*, 2003; Aye *et al.*, 2017).

Otro factor limitante es la siembra de materiales criollos de bajo rendimiento, adaptación limitada y susceptibles a enfermedades (Ugalde *et al.*, 2014) y de variedades como Negro Jamapa, generada en 1958 (Rosales *et al.*, 2004). Esta variedad se siembra en Chiapas y otros estados del trópico de México porque su grano es de alta demanda, pero es susceptible a las principales enfermedades virales y fungosas presentes en Chiapas, y tiene pobre adaptación a condiciones de sequía y suelos ácidos (Rodríguez y Yoshii, 1990; Tosquy *et al.*, 2008; 2014). Considerando que en Chiapas, la mayoría de los productores de frijol son de autoconsumo y siembran en superficies menores a 1 ha con recursos económicos limitados, el uso de variedades mejoradas de alto rendimiento y tolerantes a los factores limitantes indicados, representa la alternativa más viable para contribuir a mitigar la baja productividad del cultivo en la entidad (López *et al.*, 2012).

Actualmente, el Programa de Frijol para el sureste de México dispone de un grupo de líneas avanzadas de frijol negro, generadas por el Programa Nacional de Frijol del INIFAP, las cuales fueron seleccionadas por su alto potencial de rendimiento, menor interacción con el ambiente y algunas de ellas, por la presencia del marcador molecular (MM) SR2 ligado al gen *bgm-1* que confiere resistencia al BGYMV (Anaya *et al.*, 2018; Tosquy *et al.*, 2019). El objetivo de este trabajo de investigación fue identificar genotipos (líneas o variedades) de frijol negro resistentes al mosaico amarillo dorado, con mayor potencial de rendimiento que la variedad Negro Jamapa, bajo las condiciones ambientales en que se siembra el frijol en el estado de Chiapas.

Materiales y métodos

El estudio incluyó 14 genotipos de frijol negro tropical: 11 líneas avanzadas (cinco derivadas de la cruza Negro Papaloapan/SEN 46, tres de la cruza Negro Citlali/XRAV-187-3 y tres de la cruza Jamapa Plus/XRAV-187-3), las variedades mejoradas Negro Medellín y Verdín, incluidas por su buen comportamiento productivo y adaptación a las áreas tropicales de los estados de Chiapas y Veracruz (López *et al.*, 2000; Tosquy *et al.*, 2016) y Negro Jamapa utilizada como testigo por ser una de las variedades más sembradas en Chiapas (López *et al.*, 2006).

El ensayo de campo se estableció en tres localidades de la zona centro del estado de Chiapas durante el ciclo de otoño-invierno (septiembre-diciembre) de 2019-2020 y se condujo en condiciones de humedad residual; es decir, aprovechando la humedad almacenada en el suelo y el agua de las últimas lluvias del ciclo de temporal.

El suelo del sitio experimental de Villa Corzo es un Luvisol crómico, de textura migajón arenosa, con pH de 4.79, clasificado como fuertemente ácido, según la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-021-RECNAT-2000, el suelo del Campo Experimental Centro de Chiapas (CECECH) es un Vertisol epiléptico pélico, de textura migajón arcillo arenosa, con pH de 5.74, clasificado como moderadamente ácido y el de El Gavilán, es un Vertisol calcárico pélico, de textura migajón arcillosa, con pH de 4.26, clasificado como fuertemente ácido (NOM 021-RECNAT-2000, 2000). En el Cuadro 1 se muestra la localización geográfica y algunas características climáticas de las localidades de evaluación.

Cuadro 1. Localización y características climáticas de los sitios experimentales donde se condujo el ensayo de campo en Chiapas. Ciclo de otoño-invierno de 2019-2020.

Localidad	Coordenadas geográficas	Altitud (m)	Precipitación pluvial anual (mm)	Temperatura media anual (°C)
Villa Corzo [†]	16° 11' LN y 93° 16' LO	569	1156.7	25.1
CECECH [‡]	16° 46' LN y 93° 24' LO	796	878.1	22.7
El Gavilán [‡]	16° 44' LN y 93° 26' LO	760	890.5	23.6

[†]= municipio de Villa Corzo; [‡]= municipio de Ocozocoautla. CECECH= Campo Experimental Centro de Chiapas (Serrano *et al.*, 2006).

Los genotipos de frijol se sembraron en septiembre de 2019, a una densidad de 250 000 plantas ha⁻¹, en diseño experimental bloques al azar con tres repeticiones y parcelas experimentales de tres surcos de 5 m de longitud, donde la parcela útil correspondió al surco central completo.

Durante la conducción del ensayo se cuantificó la precipitación pluvial, se determinó la incidencia del mosaico amarillo dorado en la etapa R8 con la escala general de 1 a 9 para la evaluación de enfermedades virales, donde 1 y 9 corresponden a 0% y 100% de incidencia, respectivamente (Van y Pastor, 1987) y el rendimiento de grano expresado en kilogramos por hectárea al 14% de humedad.

Se realizaron análisis de varianza de las variables cuantificadas por localidad y análisis combinado de los tres ambientes de prueba, para la separación de promedios se aplicó la prueba basada en la diferencia mínima significativa al 5% de probabilidad de error (DMS, $\alpha= 0.05$) (SAS Institute,

1999). También se realizaron análisis de correlación entre los valores promedio de incidencia de mosaico amarillo dorado y del rendimiento de grano de los genotipos en cada localidad, para determinar en específico, en que localidades de evaluación, el BGYMV se relacionó negativa y significativamente con el rendimiento de frijol.

Resultados y discusión

En las tres localidades de prueba se detectó efecto altamente significativo entre tratamientos ($p \leq 0.01$) en la incidencia del mosaico amarillo dorado. Con respecto al rendimiento de grano, sólo en la localidad del CECECH se detectó alta significancia ($p \leq 0.01$) entre tratamientos, en tanto que, en Villa Corzo y El Gavilán, el efecto fue significativo ($p \leq 0.05$) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de incidencia del mosaico amarillo dorado y rendimiento de grano de genotipos de frijol negro evaluados en tres localidades del estado de Chiapas. Ciclo de otoño-invierno de 2019-2020.

FV	GL	Villa Corzo	CECECH	El Gavilán
Incidencia de mosaico amarillo dorado				
Tratamientos	13	2.293039**	6.893771**	4.65201**
Bloques	2	0.380951	0.5	0.071442
Error	26	0.227107	0.525642	0.327841
Total	41			
CV (%)		14.94	21.15	13.82
Rendimiento de grano				
Tratamientos	13	51 111.08*	12 2748.62**	17 181.08*
Bloques	2	46 304	6 890	4 715
Error	26	18 195.54	22 257.08	7 330.15
Total	41			
CV (%)		15.93	14.94	10.21

El mosaico amarillo dorado redujo significativamente el rendimiento de grano en las tres localidades de prueba (Villa Corzo $r = -0.562^*$, CECECH $r = -0.757^{**}$ y El Gavilán $r = -0.552^*$), lo cual pudo deberse a que la mosca blanca, y los síntomas se presentaron desde la etapa V4 del frijol, que es cuando esta enfermedad puede causar mayor daño a las plantas de frijol (López *et al.*, 2002). La presencia del vector e incidencia de síntomas en las etapas tempranas del desarrollo de la planta contribuyen a garantizar que la evaluación se realizó en condiciones de presión de la enfermedad.

En el Cuadro 3 se muestra que, en los tres sitios de evaluación, Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-1 presentó el mayor daño por esta enfermedad, con valores de incidencia de 5 en Villa Corzo y superiores a 6 en el CECECH y El Gavilán, que indican que este genotipo fue el más susceptible al mosaico amarillo dorado. La línea Negro Papaloapan/SEN 46-3-2, también mostró daños significativos en la localidad del CECECH con síntomas intermedios de la enfermedad.

Cuadro 3. Incidencia de mosaico amarillo dorado en 14 genotipos de frijol negro en tres localidades del estado de Chiapas. Ciclo de otoño-invierno de 2019-2020.

Genotipo	Villa Corzo	CECECH	El Gavilán	Promedio
Negro Papaloapan/SEN 46-2-6	3.67	4.67	3.67	4 bcde
Negro Papaloapan/SEN 46-3-2	4	5.33*	3.67	4.33 bcd
Negro Papaloapan/SEN 46-7-7	2	1.33	3	2.11 gh
Negro Papaloapan/SEN 46-7-10	2.67	3	4.33	3.33 cdef
Negro Papaloapan/SEN 46-7-12	3	3.33	4.33	3.56 bcdef
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-5	3	2	4	3 efg
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-6	1.67	2	1.33	1.67 h
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8	3.33	2.33	4.67	3.44 cdef
Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2	3.33	3.33	5	3.89 bcde
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-1	5*	6.33*	6.67*	6 a
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4	3	2.33	4.33	3.22 defg
Negro Medellín	4	4.67	5.33	4.67 b
Negro Jamapa	3.67	5	4.67	4.44 bc
Verdín	2.33	2.33	3	2.56 fgh
Promedio de ambiente	3.19 b	3.43 b	4.14 a	3.59
ANVA	**	**	**	**
CV (%)	14.94	21.15	13.82	16.73
DMS (0.05)	0.8	1.217	0.961	1.134
Coef. correlación BGYMV vs RG	-0.562*	-0.757**	-0.552*	-0.699**

Los valores registrados corresponden a la escala de incidencia de 1 a 9 (Van y Pastor, 1987). * = $p \leq 0.05$. ** = $p \leq 0.01$. Medias con letras iguales en la hilera de promedios de ambientes y en la columna de promedios de genotipos, no son estadísticamente diferentes según la diferencia mínima significativa (DMS, 0.05).

En el análisis conjunto de incidencia de mosaico amarillo dorado, se detectó efecto significativo en el factor localidad y altamente significativo en el factor genotipo y en la interacción de ambos factores. Con respecto al primer factor, en la localidad de El Gavilán, se tuvo la mayor incidencia de esta enfermedad, con un valor promedio de 4.14, significativamente superior a los registrados en el CECECH y en Villa Corzo que tuvieron un valor promedio de 3.43 y 3.19, respectivamente (Cuadro 3), un valor de 3 en la escala general de evaluación para enfermedades virales corresponde a una incidencia entre 11 y 25%, mientras que 1 de 4 a una incidencia entre 26 y 40%, por lo que estos valores pueden considerarse como una incidencia baja y media, respectivamente, ya que un valor de 8 o 9 en la escala corresponden a incidencias entre 91 y 100% (Van y Pastor, 1987).

Lo anterior pudo deberse a que en El Gavilán se dispuso de menor humedad (83 mm de precipitación pluvial) y prevalecieron temperaturas promedio ligeramente más altas (25.1 °C) durante la fase vegetativa del cultivo (Cuadro 4), lo que favoreció la reproducción de la mosca blanca (*B. tabaci*) y por consecuencia, se incrementó la incidencia de mosaico amarillo dorado, ya que la incidencia de esta enfermedad se relaciona directamente con las poblaciones de *B. tabaci* (Morales y Anderson, 2001); asimismo, la ocurrencia de periodos de sequía, acompañados de altas temperaturas, favorecen la reproducción de *B. tabaci* (Cuéllar y Morales, 2006).

Cuadro 4. Precipitación pluvial ocurrida y temperatura media prevaleciente en los sitios experimentales en donde se condujo el ensayo uniforme de rendimiento en el estado de Chiapas. Ciclo de otoño-invierno de 2019-2020.

Localidad	Fecha de siembra	Fase vegetativa		Fase reproductiva		PP total en el ciclo (mm)
		PP (mm)	TM (°C)	PP (mm)	TM(°C)	
Villa Corzo [†]	12-09-2019	118	24.1	66	23.7	184
CECECH [‡]	13-09-2019	86	23.6	130	23.2	216
El Gavilán [‡]	27-09-2019	83	25.1	142	24.8	225

[†]= municipio de Villa Corzo; [‡]= municipio de Ocozocoautla; CECECH= Campo Experimental Centro de Chiapas; PP = precipitación pluvial; TM= temperatura media.

En el factor genotipo, las líneas Negro Citlali/XRAV-187-3-1-6, Negro Papaloapan/SEN 46-7-7, Negro Citlali/XRAV-187-3-1-5 y Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4, así como la variedad Verdín, fueron las más resistentes a esta enfermedad viral, con calificaciones promedio de incidencia de entre 1.67 y 3.22, significativamente inferiores al de las variedades Negro Medellín y Negro Jamapa, y al de la línea Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-1, esta última línea obtuvo el valor promedio más alto de incidencia (6), el cual fue significativamente superior al del resto de los genotipos (Cuadro 3).

La buena reacción al mosaico amarillo dorado de Negro Citlali/XRAV-187-3-1-6, Negro Citlali/XRAV-187-3-1-5 y Verdín, obedece en gran parte, a que sus plantas poseen el MM dominante SR2, ligado al gen *bgm-1*, que les confiere resistencia genética al BGYMV (Urrea *et al.*, 1996; Anaya *et al.*, 2018). En el caso de Negro Papaloapan/SEN 46-7-7 y Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4, que en un primer escrutinio resultaron negativos a la presencia del MM SR 2 (Anaya *et al.* (2018), su buena reacción al mosaico amarillo dorado, puede deberse a que estas líneas contienen otros genes o mecanismos de resistencia que contribuyeron a una respuesta de resistencia más estable a través de ambientes, lo cual es probable, ya que sus progenitores, Negro Papaloapan, en el caso de la primera línea y XRAV-187-3 de la segunda, además de tener el gen *bgm-1*, tienen el QTL mayor de resistencia al BGYMV (Anaya *et al.*, 2018).

La significancia estadística de la interacción localidad x genotipo, se debió a diferencias en los valores de incidencia de mosaico amarillo dorado de algunos genotipos a través de las localidades de prueba, lo cual fue más notorio en las líneas Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8 y Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2, que en el CECECH y en Villa Corzo presentaron baja incidencia de esta enfermedad, con calificaciones promedios que variaron de entre 2.33 y 3.33, en tanto que, en el Gavilán, obtuvieron calificaciones promedios de 4.67 y 5, respectivamente, así como en las variedades Negro Jamapa y Negro Medellín, que tuvieron una incidencia ‘moderada’ en Villa Corzo, con calificaciones de 3.67 y 4, respectivamente, e ‘intermedia’ en el CECECH y El Gavilán, con calificaciones que variaron de entre 4.67 y 5.33 (Van y Pastor, 1987) (Cuadro 3).

Con respecto al rendimiento de grano, en cada una de las localidades de prueba, el grupo sobresaliente de genotipos (cuatro en Villa Corzo, cuatro en el CECECH y ocho en El Gavilán), superó estadísticamente el rendimiento de las variedades Negro Jamapa y Negro Medellín (Cuadro 5). De estos tres grupos, destacan las líneas: Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4 y Negro Papaloapan/SEN 46-7-7 que, aunque carecen del MM SR2 ligado al gen *bgm-1*, obtuvieron un

rendimiento de grano significativamente sobresalientes en las tres localidades de prueba, las líneas Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2 y Negro Citlali/XRAV-187-3-1-6 y la variedad Verdín, también se ubicaron en el grupo sobresaliente en el CECECH y EL Gavilán (Cuadro 5).

Cuadro 5. Rendimiento de grano de genotipos de frijol negro evaluados en tres localidades del estado de Chiapas. Ciclo de otoño-invierno de 2019-2020.

Genotipo	Villa Corzo	CECECH	El Gavilán	Promedio
Negro Papaloapan/SEN 46-2-6	802.67	724	813.67	780.11 def
Negro Papaloapan/SEN 46-3-2	851.67	792.67	987.33*	877.22 cdef
Negro Papaloapan/SEN 46-7-7	1 079.33*	1 268.67*	862*	1 070 ab
Negro Papaloapan/SEN 46-7-10	924*	1 048	802.67	924.89 abcde
Negro Papaloapan/SEN 46-7-12	756.67	1 033.33	873.67*	887.89 bcdef
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-5	739	957.33	898.33*	864.89 cdef
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-6	837.33	1 154.67*	879.67*	957.22 abcd
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8	887.33	1 056	828.67	924 abcde
Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2	810	1 310*	848.67*	989.56 abc
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-1	681.33	860	747.33	762.89 ef
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4	1 125.67*	1 244.67*	897*	1 089.11 a
Negro Medellín	737	754	680.67	723.89 f
Negro Jamapa	719.33	734.67	760.33	738.11 f
Verdín	903.33*	1 042.67	858*	934.67 abcde
Promedio de ambiente	846.76 b	998.62 a	838.43 b	894.6
ANVA	*	**	*	**
CV (%)	15.93	14.94	10.21	14.11
DMS (0.05)	226.44	250.44	143.73	185.4

Valores expresados en kilogramos por hectárea. * = $p \leq 0.05$. ** = $p \leq 0.01$. Medias con letras iguales en la hilera de promedios de ambientes y en la columna de promedios de genotipos, no son estadísticamente diferentes según la diferencia mínima significativa (DMS, 0.05).

El hecho de que líneas carentes del MM SR2 hayan sobresalido por su mayor rendimiento en condiciones de presión de mosaico amarillo dorado, en comparación con las líneas que poseen este marcador, destaca la importancia de confirmar la resistencia mediante la confrontación con el patógeno, ya que si bien, *bgm-1* es el gen más ampliamente usado, el MM SR2, según los estándares actuales, no está estrechamente ligado a este gen (~3-7 cM), lo que resulta en la selección de unas pocas líneas que poseen el marcador, pero que no obstante, son susceptibles al virus, además de que existen otros genes y QTLs cuya acumulación condiciona altos niveles de resistencia a BGYMV (Soler-Garzón *et al.*, 2021), así como otros mecanismos de resistencia al vector, como la antibiosis o antixenosis (Santos *et al.*, 2020), cuya presencia en los materiales evaluados requiere ser estudiada.

De acuerdo con el análisis combinado, el rendimiento varió significativamente entre localidades ($P \leq 0.05$), genotipos ($p \leq 0.01$) y en la interacción de ambos factores ($p \leq 0.01$). En el mismo Cuadro 5, se observó que el mayor rendimiento promedio se obtuvo en la localidad del CECECH, debido en gran parte, a mejores condiciones de pH de suelo (Cuadro 1) y de humedad durante la fase

reproductiva del cultivo, en la que el frijol dispuso de 130 mm de agua de lluvia, de un total acumulado de 216 mm en el ciclo (Cuadro 4), que favorecieron el llenado de vainas y por ende, el rendimiento de grano (López *et al.*, 2008).

En El Gavilán y Villa Corzo, se obtuvieron rendimientos promedio estadísticamente similares entre sí, e inferiores al del CECECH, debido principalmente a que el suelo en donde se condujo el ensayo en ambas localidades es fuertemente ácido (Cuadro 1), lo cual limita el desarrollo y la productividad del cultivo, por una baja disponibilidad de bases cambiables (K^+ , Ca^{++} y Mg^{++}) para la nutrición del frijol y en algunos casos, también, por una alta saturación de aluminio que pueden contener suelos ácidos de las regiones de la Frailesca y centro de Chiapas, la cual puede provocar toxicidad a las plantas de frijol y un crecimiento reducido de las raíces (Villar, 2000).

En general, los rendimientos de grano promedio obtenidos en las tres localidades fueron relativamente bajos, debido en gran parte, a una baja disponibilidad de humedad en el ciclo del cultivo (Cuadro 4), ya que, para un adecuado desarrollo del frijol, se requieren de al menos 300 mm de precipitación pluvial, bien distribuidos durante el ciclo fenológico (Ruíz *et al.*, 2013). En el factor genotipo, un grupo de seis líneas y la variedad Verdín obtuvieron rendimientos de grano promedio, estadísticamente similares entre sí y superiores a las variedades Negro Medellín y Negro Jamapa, en este grupo, las más productivas fueron Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4 y Negro Papaloapan/SEN 46-7-7 con rendimientos promedio mayores a 1 000 kg ha⁻¹ (Cuadro 5).

Las dos variedades arriba indicadas, junto con la línea Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-1, obtuvieron los más bajos rendimientos de grano (Cuadro 5) en gran parte, porque fueron las más afectadas por el mosaico amarillo dorado; es decir, las plantas de estos genotipos, en promedio presentaron una mayor incidencia de esta enfermedad, que en general, se relacionó de manera negativa con el rendimiento de grano ($r = -0.699^{**}$) (Cuadro 3).

El efecto altamente significativo de la interacción de ambos factores, indicó que la respuesta productiva de algunos genotipos, varió con el ambiente de evaluación, ejemplos notorios de este comportamiento se observaron en Negro Papaloapan/SEN 46-3-2, que en El Gavilán, fue el genotipo más rendidor, lo que se atribuye a su buena respuesta en condiciones de acidez edáfica severa (pH de 4.26), mientras que en el CECECH, con mejores condiciones de acidez de suelo para el adecuado desarrollo del frijol (pH de 5.74), fue de los menos productivos (Cuadro 5), debido principalmente al daño ocasionado por el mosaico amarillo dorado; así como también en Negro Papaloapan/SEN 46-7-10, que en la localidad de Villa Corzo, en condiciones de suelo fuertemente ácido (pH de 4.79), obtuvo un rendimiento de grano significativamente sobresaliente, en tanto que, en El Gavilán, bajo condiciones de acidez edáfica aún más severa, fue de los menos productivos (Cuadro 5), en parte también, porque en esa localidad presentó una mayor incidencia de mosaico amarillo dorado, que en las otras dos localidades (Cuadro 3).

Conclusiones

En las condiciones de humedad y suelos ácidos del estado de Chiapas, la variedad Verdín representa mejor opción de cultivo, que la variedad Negro Jamapa. Las líneas Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4, Negro Papaloapan/SEN 46-7-7 y Negro Citlali/XRAV-187-3-1-6, y la variedad Verdín fueron resistentes al mosaico amarillo dorado y tuvieron significativamente mayor rendimiento de grano que la variedad testigo.

Literatura citada

- Anaya, L. J. L.; Garrido, R. E. R.; Chiquito, A. E.; Tosquy, V. O. H.; Ibarra, P. F. J. y López, S. E. 2018. Identificación de líneas recombinantes de frijol negro opaco resistentes a BCMV, BCMNV y BGYMV mediante marcadores moleculares. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9(3):601-614. <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1219>.
- Aye, N. S.; Butterly, C. R.; Sale, P. W. G. and Tang, C. 2017. Residue addition and liming history interactively enhance mineralization of native organic carbon in acid soils. *Biol. Fert. Soils.* 53(1):61-75. <https://doi.org/10.1007/s00374-016-1156-y>.
- Cuéllar, M. E. y Morales, F. J. 2006. La mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) como plaga y vectora de virus en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Colombiana de Entomología.* 32(1):1-9.
- FIRA. 2016. Fideicomiso Instituido en relación con la Agricultura. Panorama agroalimentario. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Frijol. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). México. 17-18 pp.
- Frahm, M.; Rosas, J. C.; Mayek, N.; López, E.; Acosta, J. A. y Kelly, J. D. 2003. Resistencia a sequía terminal en frijol negro tropical. *Agron. Mesoam.* 14(2):143-150. <https://doi.org/10.15517/am.v14i2.11942>.
- López, S. E.; Becerra, L. E. N.; Cano, R. O. y López, G. V. O. 2002. Detección de líneas y variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) con resistencia múltiple a enfermedades en el trópico húmedo de México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 20(2):193-199.
- López, S. E.; Cumpián, G. J.; Becerra, L. E. N.; Villar, S. B.; Ugalde, A. F. J. y Acosta, G. J. A. 2000. Adaptación y rendimiento de la variedad de frijol Negro Medellín en el sureste de México. *Agron. Mesoam.* 11 (2):47-52. <https://doi.org/10.15517/am.v11i2.17307>.
- López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Villar, S. B.; Becerra, L. E. N.; Ugalde, A. F. J. y Cumpián, G. J. 2006. Adaptabilidad de genotipos de frijol resistentes a enfermedades y a suelos ácidos. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(1):33-39.
- López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Ugalde, A. F. J. y Acosta, G. J. A. 2008. Rendimiento y tolerancia a sequía de genotipos de frijol negro en Veracruz. *Rev. Fitotec Mex.* 31(3):35-39.
- López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Jiménez, H. Y.; Salinas, P. R. A.; Villar, S. B. y Acosta, G. J. A. 2012. Rendimiento y adaptación de la variedad de frijol ‘Negro Comapa’ en dos regiones de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(4):309-315.
- Morales, F. J. and Anderson, P. K. 2001. The emergence and dissemination of whitefly-transmitted geminiviruses in Latin America. *Arch. Virol.* 146(3):415-441. <https://doi.org/10.1007/s007050170153>.
- Norma Oficial Mexicana. 2002NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, DF.
- Rodríguez, R. R. y Yoshii, O. K. 1990. Tolerancia varietal del frijol al mosaico dorado y control químico del vector *Bemisia tabaci* Genn. en Papantla, Veracruz. *Agric. Téc. Méx.* 16(1):19-32.
- Rosales, S. R.; Acosta, G. J. A.; Muruaga, M. J. S.; Hernández, C. J. M.; Esquivel, E. G. y Pérez, H. P. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación (SAGARPA). Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX). Chapingo, Estado de México, México. Libro técnico núm. 6. 80-110 pp.

- Ruíz, C. J. A.; Medina, G. G.; González, A. I. J.; Flores, L. H. E.; Ramírez, O. G.; Ortiz, T. C.; Byerly, M. K. F. y Martínez, P. R. A. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. 2^{da}. (Ed). INIFAP. CIRPAC. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. Libro técnico núm. 3. 211-217 pp.
- SAS Institute. 1999. Institute Statistical Analysis Systems. SAS/STAT user's guide. Versión 8.0. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Santos, T. L. B.; Baldin, E. L. L.; Ribeiro, L. P.; Souza, C. M.; Bueno, N. M. and Silva, I. F. 2020. Silverleaf whitefly-resistant common beans: an investigation of antibiosis and/or antixenosis. *Bragantia*. 79(1):62-73. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20190309>.
- Serrano, A. V.; G. Díaz, P. G.; López, L. A.; Cano, G. M. A.; Báez, G. A. D. y Garrido, R. E. R. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Chiapas (período 1961-2003). SAGARPA. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México. Libro técnico núm. 1. 57-142 pp.
- SIAP. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Avance de siembras y cosechas. Resumen por estado. SIAP. Gobierno de México. <http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola-siap-gobmx/resumenproducto.do>.
- Soler-Garzón, A.; Oladza, A.; Beaver, J.; Beebe, S.; Lee, R.; Lobaton, J. D.; Macea, E.; McClean, P.; Raatz, B.; Rosas, J. C.; Song, Q. and Miklas, P. N. 2021. NAC candidate gene marker for *bgm-1* and interaction with QTL for resistance to Bean golden yellow mosaic virus in common bean. *Front Plant Sci*. 12(1):1-18. <https://doi: 10.3389/fpls.2021. 628443>.
- Tosquy, V. O. H.; Villar, S. B.; Rodríguez, R. J. R.; Ibarra, P. F. J.; Zetina, L. R.; Meza, P. A. y Anaya-López, J. L. 2019. Adaptación de genotipos de frijol negro a diferentes ambientes de Veracruz y Chiapas. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 10(6):1301-1312. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1658>.
- Tosquy, V. O. H.; López, S. E.; Villar, S. B.; Acosta, G. J. A. y Rodríguez, R. J. R. 2016. Verdín: variedad de frijol negro tolerante a sequía terminal para Veracruz y Chiapas, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(7):1775-1780. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.170>.
- Tosquy, V. O. H.; López, S. E.; Francisco, N. N.; Acosta, G. J. A. y Villar, S. B. 2014. Genotipos de frijol negro opaco resistentes a sequía terminal. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(7):1205-1217. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i7.866>.
- Tosquy, V. O. H.; López, S. E.; Zetina, L. R.; Ugalde, A. F. J.; Villar, S. B. y Cumpián, G. J. 2008. Selección de genotipos de frijol con adaptación a suelos ácidos. *Terra Latinoam.* 26(3):227-233.
- Ugalde, A. F. J.; López, S. E.; Lépiz, I. R.; Viana, R. A. y Leyva, V. S. 2014. Producción artesanal de semilla de frijol con participación municipal en Veracruz, México. *Agron. Mesoam.* 25(1):35-44. <https://doi.org/10.15517/am.v25i1.14211>.
- Urrea, C. A.; Miklas, P. N.; Beaver, J. S. and Riley, R. H. 1996. A codominant randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) marker useful for indirect selection of bean golden mosaic virus resistance in common bean. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121(6):1035-1039. <https://doi.org/10.21273/JASHS.121.6.1035>.
- Van, S. A. y Pastor, C. M. A. 1987. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. Van Schoonhoven, A. y Pastor-Corrales, M. A. (Comps.). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 17-19 pp.
- Villar, S. B. 2000. Estrategia para el manejo de suelos ácidos en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el estado de Chiapas, México. *Agron. Mesoam.* 11(1):155-158.
- Villar, S. B.; López, S. E. y Acosta, G. J. A. 2003. Selección de genotipos de frijol por rendimiento y resistencia al mosaico dorado y suelos ácidos. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(3):109-114.