

Validación de la variedad de frijol Negro Comapa en ambientes tropicales del estado de Veracruz

Validation of the Negro Comapa bean variety in tropical environments of the state of Veracruz

Oscar Hugo Tosquy Valle¹, Ernesto López Salinas¹, Valentín Alberto Esqueda Esquivel^{1*}, José Raúl Rodríguez Rodríguez², Jorge Alberto Acosta Gallegos³

¹Campo Experimental Cotaxtla. Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Km 34 Carretera Federal Veracruz-Córdoba, municipio de Medellín, Ver., México.

*Correo electrónico: esqueda.valentin@inifap.gob.mx

²Campo Experimental Ixtacuaco. CIRGOC. INIFAP.

³Campo Experimental Bajío. Centro de Investigación Regional Centro (CIRCE) INIFAP.

*Autor de correspondencia

Resumen

En el estado de Veracruz, el rendimiento promedio de frijol es menor a 700 kg ha⁻¹ debido a la siembra de materiales de bajo rendimiento y susceptibles a sequía y enfermedades. Las variedades mejoradas podrían ayudar a revertir esta situación. Por este motivo, de 2011 a 2013 se validó la variedad de frijol Negro Comapa en 11 ambientes de Veracruz, México, con objeto de verificar su productividad y determinar su estabilidad en parcelas de entre 1500 m² y 2000 m². En ocho ambientes, las parcelas se condujeron en condiciones de humedad residual y, en tres, bajo temporal. Para determinar el rendimiento de grano, en cada genotipo se realizaron cuatro muestreos de 6 m² cada uno. Negro Comapa superó en 22% y 39% el rendimiento de Negro Jamapa y Negro Michigan en humedad residual y en 43% y 45% bajo temporal, respectivamente. Su rendimiento promedio fue de 1261 kg ha⁻¹, significativamente superior al de los dos testigos. Negro Comapa mostró alta productividad, resistencia a enfermedades y buena respuesta en el rendimiento en ambientes favorables.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*; rendimiento; adaptabilidad; humedad residual; temporal.

Abstract

In the state of Veracruz, the average bean yield is less than 700 kg ha⁻¹, due to the use of low yielding materials that are susceptible to drought and diseases. Improved varieties could help to reverse this situation. For this reason, from 2011 to 2013 the Negro Comapa bean variety was validated in 11 environments in Veracruz, Mexico, in order to verify its productivity and determine its yield stability in comercial plots from 1500 m² and 2000 m². In eight environments, plots were conducted in conditions of residual moisture and, in three, under rainfall conditions. To determine the grain yield, in each genotype four samples of 6 m² each were made. Under residual moisture, Negro Comapa outyielded Negro Jamapa and Negro Michigan by 22% and 39%, respectively, and by 43% and 45% under rainfed conditions. Its average yield was 1261 kg ha⁻¹, significantly higher than the two check varieties. Negro Comapa showed high productivity, disease resistance and high yield response in favorable environments.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*; yield; adaptability; residual moisture; rainy season.

Recibido: 15 de agosto de 2018

Aceptado: 21 de febrero de 2020

Publicado: 04 de marzo de 2020

Como citar: Tosquy Valle, O. H., López Salinas, E., Esqueda Esquivel, V. A., Rodríguez Rodríguez, J. R., & Acosta Gallegos, J. A. (2020). Validación de la variedad de frijol Negro Comapa en ambientes tropicales del estado de Veracruz. *Acta Universitaria* 30, e2358. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2020.2358>

Introducción

En el estado de Veracruz, localizado en la parte oriental de la República Mexicana, durante 2016 se sembraron 35 009 ha de frijol, en las que se obtuvo una producción de 25 533 t de grano, con un rendimiento promedio de 729.3 kg ha⁻¹ (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2018). En la entidad se siembran principalmente variedades de grano negro y opaco, como Negro Jamapa, así como otros materiales nacionales de origen desconocido o importados (Ugalde-Acosta, López-Salinas, Lépiz-Idelfonso, Viana-Ruano & Leyva-Vela, 2014). Debido a que en Veracruz se tiene una demanda anual de frijol de alrededor de 80 000 t, la producción que se obtiene en la entidad no es suficiente para cubrirla, por lo que es necesario introducir grano de otras entidades federativas del país, como Nayarit y Zacatecas, así como importarlo del extranjero (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [Sagarpa], 2017).

Las siembras de frijol en la entidad se realizan en los ciclos de otoño-invierno e invierno-primavera en condiciones de humedad residual (principalmente con la humedad de las lluvias almacenada en el suelo) y, en verano, en condiciones de temporal. En ambas condiciones se tiene alto riesgo de escasez de humedad durante las etapas críticas de floración y formación y llenado de vainas (López, Tosquy, Acosta, Villar & Ugalde, 2011a; Tosquy, López, Zetina, Villar & Rodríguez, 2017), lo que favorece la incidencia de las enfermedades fungosas: pudrición carbonosa (*Macrophomina phaseolina* [Tassi] Goid.), mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola* [Sacc.] Ferraris), roya (*Uromyces appendiculatus* [Pers.] Unger) y antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum* [Sacc. & Mag.] Scrib.). Dependiendo de su grado de severidad, estas enfermedades pueden ocasionar reducción significativa en el rendimiento y calidad del grano (Becerra, López & Acosta, 2016; López *et al.*, 2006; Tosquy-Valle *et al.*, 2012). En el estado de Veracruz se siembran tanto variedades criollas (criollo Comapa, criollo vaina morada, arbolito) como variedades introducidas (principalmente Negro Michigan), además de la variedad Negro Jamapa, generada en 1958 por el entonces Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (Rosales, Acosta, Muruaga, Hernández & Pérez, 2004). En general, las variedades criollas poseen adaptación específica a los sistemas de producción que emplean bajos insumos o a la localidad donde se han utilizado tradicionalmente, por lo que son poco productivas en ambientes favorables o fuera de su área de adaptación (Ugalde-Acosta *et al.*, 2014; Vidal-Barahona, Lagunes-Espinoza, Valadez & Ortiz-García, 2006). La variedad Negro Michigan, al haber sido desarrollada en los Estados Unidos de América (Guzmán, Almanza, Acosta & Guzmán, 2009), muestra pobre adaptación a condiciones de sequía y susceptibilidad a las enfermedades que comúnmente inciden en la entidad; sin embargo, se siembra debido principalmente a su alta calidad culinaria (Tosquy-Valle, López-Salinas, Becerra, Esqueda & Rodríguez, 2013). A su vez, la variedad Negro Jamapa desarrollada en el estado de Veracruz (Rosales *et al.*, 2004) muestra buen comportamiento productivo en ambientes con humedad favorable y sin presencia de enfermedades (Tosquy-Valle, López-Salinas, Francisco-Nicolás, Acosta-Gallegos & Villar-Sánchez, 2014; Ugalde-Acosta *et al.*, 2014); esta variedad aún se siembra, porque su tipo de grano es apreciado por el consumidor (Tosquy-Valle, López-Salinas, Acosta-Gallegos & Villar-Sánchez, 2014).

Una de las estrategias viables para incrementar la productividad del frijol en Veracruz es la siembra de variedades desarrolladas en el estado con alto potencial de rendimiento, resistencia o tolerancia a las enfermedades del cultivo y con amplia adaptación a las condiciones agroambientales en que se produce el frijol en la entidad. En 2010, el Programa de Frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, a través del Campo Experimental Cotaxtla, registró la variedad mejorada Negro Comapa, cuyo grano es de color negro opaco y de tamaño pequeño, características que demandan los productores y el consumidor en la entidad (Castellanos *et al.*, 1997; López *et al.*, 2011b). En condiciones experimentales controladas, el rendimiento de esta variedad fue significativamente superior al de las variedades Negro Jamapa, Negro Michigan y Negro Papaloapan, utilizadas como testigos; además mostró

tolerancia o resistencia a las enfermedades de mancha angular, virus del mosaico común del frijol (BCMV) y virus del mosaico amarillo dorado del frijol (BGYMV), así como amplia adaptabilidad en el trópico húmedo del sureste de México (López *et al.*, 2010; López *et al.*, 2012).

Al generarse una nueva variedad, es importante verificar su comportamiento agronómico a nivel comercial en diferentes ambientes de producción, y bajo el manejo del productor (Rosales, Acosta, Ibarra, Cuéllar & Nava, 2009; Ugalde-Acosta, López & Tosquy-Valle, 2005). De 2011 a 2013 se establecieron parcelas comerciales de la variedad de frijol Negro Comapa en 11 ambientes (combinación año, ciclo y condición de humedad) del estado de Veracruz, con la finalidad de validar su respuesta productiva en terrenos de agricultores, bajo condiciones de temporal y humedad residual, en diferentes ambientes de producción de frijol de la entidad, así como determinar su estabilidad de rendimiento a través de los ambientes de evaluación.

Materiales y Métodos

Se establecieron dos parcelas en la zona norte, tres en la zona centro y seis en la zona sur del estado de Veracruz; en algunos casos, éstas se manejaron bajo condiciones de humedad residual, en los ciclos de otoño-invierno o invierno-primavera, y en otros casos bajo condiciones de temporal en el ciclo de verano. En la tabla 1 se describe la ubicación, los ciclos de siembra, la condición humedad y la textura del suelo de los sitios en que se establecieron las parcelas. En cada ambiente, Negro Comapa se comparó con las variedades comerciales Negro Jamapa y Negro Michigan. La superficie total de cada parcela con las tres variedades varió entre 1500 m² y 2000 m². En las parcelas, los productores cooperantes participaron en las diferentes actividades agronómicas realizadas y de seguimiento del cultivo.

Tabla 1. Ubicación, ciclos agrícolas, condición de humedad y textura del suelo de las localidades de validación de la variedad Negro Comapa en el estado de Veracruz.

Localidad, municipio y zona	Coordenadas geográficas	Altitud (m)	Ciclo agrícola	Condición de humedad	Textura del suelo
Tesechoacán, JA (Sur)	18°08'27" LN y 95°39'43" LO	18	I-P 2011	HR	Franco arcilloso
Rincón Grande, OB (Centro)	18°50'05" LN y 97°04'42" LO	1248	V 2011	T	Migajón arenoso
Comején, AY (Sur)	18°04'26" LN y 94°53'04" LO	80	O-I 2011	HR	Migajón arcilloso
Matacapán, SAT (Sur)	18°25'31" LN y 95°11'52" LO	260	O-I 2011	HR	Franco
El Laurel, SAT (Sur)	18°16'49" LN y 95°19'32" LO	290	O-I 2011	HR	Franco
CEIXTA, TP (Norte)	20°02'45" LN y 97°05'45" LO	88	O-I 2011	HR	Migajón arenoso
CEIXTA, TP (Norte)	20°02'45" LN y 97°05'45" LO	88	I-P 2012	HR	Migajón arenoso
Rincón Grande, OB (Centro)	18°50'05" LN y 97°04'42" LO	1248	V 2012	T	Migajón arenoso
Loma Bella, CQ (Sur)	17°54'18" LN y 94°37'24" LO	50	V 2012	T	Franco-arcilloso
Rincón Grande, OB (Centro)	18°50'05" LN y 97°04'42" LO	1248	O-I 2012	HR	Migajón arenoso
Loma Bella, CQ (Sur)	17°54'18" LN y 94°37'24" LO	50	I-P 2013	HR	Franco arcilloso

Fuente: Elaboración propia. JA = José Azueta; OB = Orizaba; AY = Acayucan; SAT = San Andrés Tuxtla; CEIXTA = Campo Experimental Ixtacuaco del INIFAP; TP = Tlapacoyan; CQ = Cosoleacaque; I-P = Invierno-Primavera; V = Verano; O-I = Otoño-Invierno; HR = Humedad residual; T = Temporal.

En todos los casos, la siembra se realizó manualmente a chorrillo, en surcos separados a 0.60 metros (m), depositando 15 semillas por metro lineal para obtener una población inicial de 250 000 plantas ha⁻¹.

La fertilización y el control de malezas y plagas se realizó de acuerdo con las recomendaciones del Programa de Frijol del campo Experimental Cotaxtla para las diferentes zonas productoras del estado

(López, Tosquy & Ibarra, 2017). En las localidades en las que hubo incidencia de enfermedades, la reacción de los genotipos se calificó de manera visual en la superficie total de cada uno de ellos, mediante la escala 1.0 a 9.0, desarrollada para la evaluación de germoplasma de frijol por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (Schoonhoven & Pastor-Corrales, 1987), en donde una reacción de 1.0 a 3.0 es igual a resistencia, de 4.0 a 6.0 es igual a reacción intermedia y de 7.0 a 9.0 es igual a susceptibilidad. Cabe aclarar, que en ningún caso se aplicaron fungicidas para el control de las enfermedades.

Al llegar a su madurez de cosecha, se seleccionaron cuatro muestras representativas de la superficie total de cultivo de cada variedad, en las que se cosecharon las plantas de dos surcos de 5 m de longitud (6 m² por muestra), como lo indican Rodríguez, Tosquy, Vázquez, Zetina & Díaz (2018). El grano se separó de las vainas, se limpió y se pesó, y se determinó el rendimiento por hectárea al 14% de humedad.

Análisis estadísticos

Los datos de rendimiento obtenidos de los muestreos realizados en cada variedad y parcela se analizaron en forma conjunta de dos maneras: 1) Por condición de humedad (temporal-genotipo y humedad residual-genotipo) y 2) Global de los 11 ambientes de evaluación-genotipo. En todos los casos, el análisis combinado se realizó en diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, considerando cada muestreo como una repetición (Rodríguez *et al.*, 2018). En los factores en que se detectó significancia, para la separación de promedio se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey ($p \geq 0.05$). Además, se realizó un análisis de parámetros de estabilidad de rendimiento de los genotipos a través de los 11 ambientes de prueba, de acuerdo con el modelo propuesto por Eberhart & Russell (1966), y su adaptación y estabilidad se clasificaron con base en los coeficientes de regresión y las desviaciones de regresión (Carballo & Márquez, 1970).

Resultados

Análisis combinado: condición de humedad residual-genotipo

Bajo esta condición, se detectó significancia estadística en el rendimiento de grano en los factores: ambiente, genotipo y su interacción, lo que indica que el rendimiento varió con el ambiente de producción, que los genotipos mostraron diferencias en su potencial productivo y que al menos uno de ellos se comportó de manera diferente en esta característica, a través de los ambientes de prueba (tabla 2).

Tabla 2. Significancia detectada en el análisis de varianza combinado: condición de humedad residual-genotipo del rendimiento de grano.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Ambientes (A)	7	4308456.0	615493.69	32.3698	0.00
Genotipos (G)	2	3230376.0	1615188.00	84.9453	0.00
Interacción (A x G)	14	1674016.0	119572.57	6.2885	0.00
Error	72	1369040.0	19014.45		
Total	95	10581888.0			

Fuente: Elaboración propia.
CV = 15.07%

Según los resultados obtenidos en la condición de humedad residual, en el factor de ambientes, en Loma Bella, en invierno-primavera de 2013 se obtuvo el rendimiento promedio más alto, el cual fue

estadísticamente similar al de Comején del otoño-invierno de 2011 y superior al del resto de los ambientes de prueba. A su vez, en el Campo Experimental Ixtacuaco, durante los ciclos otoño-invierno de 2011 e invierno-primavera de 2012 se obtuvieron los rendimientos promedio más bajos (tabla 3).

En el factor genotipo se observó que el rendimiento promedio de Negro Comapa fue superior en 22% y 39% al de las variedades Negro Jamapa y Negro Michigan, respectivamente, siendo también estadísticamente superior. Por su parte, el rendimiento de grano de Negro Jamapa también fue significativamente superior al de Negro Michigan en 21.8% (tabla 3).

Tabla 3. Rendimiento de grano (kg ha⁻¹) de tres variedades de frijol en condiciones de humedad residual.

Ambiente	Negro Comapa	Negro Jamapa	Negro Michigan	Promedio
Tesechoacán, José Azueta, I-P 2011	1294	1014	644	984.0 bc
Comején, Acayucan, O-I 2011	1567	789	989	1115.0 ab
Matacapán, San Andrés Tuxtla, O-I 2011	1058	1068	460	862.3 cd
El Laurel, San Andrés Tuxtla, O-I 2011	958	1003	815	925.7 c
CEIXTA, Tlapacoyán, O-I 2011	785	785	524	697.9 d
CEIXTA, Tlapacoyán, I-P 2012	652	496	399	515.7 e
Rincón Grande, Orizaba, O-I 2012	1272	942	746	987.1b c
Loma Bella, Cosoleacaque, I-P 2013	1600	1066	1025	1230.6 a
Promedio (kg ha ⁻¹)	1148.4 a	895.5 b	700.3 c	

Fuente: Elaboración propia. CEIXTA = Campo Experimental Ixtacuaco del INIFAP; I-P = Invierno-primavera; O-I = Otoño-invierno. Comparador Tukey 0.05: factor ambiente: 176.1., factor genotipo: 82.7.

Hubo incidencia de mancha angular en Comején en el ciclo otoño-invierno de 2011, a partir de la etapa R5 (prefloración), y en Loma Bella en invierno-primavera de 2013, a partir de la etapa R6 (floración); en ambos casos, Negro Comapa fue resistente (calificación de 3.0), mientras que Negro Jamapa tuvo una reacción intermedia (calificación de 6.0 y 5.0) y Negro Michigan mostró reacción intermedia en Comején y de susceptibilidad en Loma Bella (calificaciones de 6.0 y 7.0, respectivamente).

Análisis combinado: condición de temporal-genotipo

En esta condición de humedad también se detectó significancia estadística en el rendimiento de grano en los factores: ambiente, genotipo y la interacción de ambos factores (tabla 4).

Tabla 4. Significancia detectada en el análisis de varianza combinado: condición de temporal-genotipo del rendimiento de grano.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Ambientes (A)	2	6153788.0	3076894.00	96.8046	0.00
Genotipos (G)	2	3803280.0	1901640.00	59.8290	0.00
Interacción (A x G)	4	1922664.0	480666.00	15.1226	0.00
Error	27	858184.0	31784.59		
Total	35	12737916.0			

Fuente: Elaboración propia.
CV = 16.18%

En la localidad de Loma Bella, en verano de 2012 el rendimiento promedio fue significativamente mayor que el obtenido en Rincón Grande durante el temporal de 2011 y 2012 (tabla 5). El rendimiento promedio de Negro Comapa fue entre 43% y 45% superior al de las variedades testigo, las cuales fueron estadísticamente similares entre sí.

En Rincón Grande, durante el verano de 2011, la incidencia de mancha angular ocurrió temprano en el ciclo, a partir de la etapa V4 (tercera hoja trifoliada), lo que ocasionó reducción en el rendimiento en las tres variedades, aunque más severa en Negro Michigan, cuya calificación de 7.0 indica que es una variedad susceptible. En esta localidad, Negro Comapa y Negro Jamapa mostraron reacción intermedia a la mancha angular (4.0 y 5.0, respectivamente).

En Rincón Grande, en el ciclo de verano de 2012, las condiciones de alta humedad relativa, mayor a 85%, y temperaturas frescas de entre 16 °C y 24 °C favorecieron una fuerte incidencia de antracnosis (López *et al.*, 2006) durante la etapa reproductiva del cultivo, afectando principalmente a las vainas en desarrollo y llenado. Negro Comapa mostró resistencia (calificación de 2.0), mientras que Negro Jamapa y Negro Michigan tuvieron mayor daño (calificaciones de 6.0 y 7.0, respectivamente).

Tabla 5. Rendimiento de grano (kg ha⁻¹) de tres variedades de frijol en condiciones de temporal.

Ambiente	Negro Comapa	Negro Jamapa	Negro Michigan	Promedio
Rincón Grande, Orizaba, V 2011	939	925	366	743.3 b
Rincón Grande, Orizaba, V 2012	1424	654	567	881.7 b
Loma Bella, Cosoleacaque, V 2012	2322	1080	1642	1681.3 a
Promedio (kg ha ⁻¹)	1561.5 a	886.3 b	858.6 b	

Fuente: Elaboración propia. V = Verano. Comparador Tukey 0.05: factor ambiente: 180.6, factor genotipo: 180.6.

Análisis combinado global-genotipo

En el análisis conjunto de los 11 ambientes de evaluación, el rendimiento también varió significativamente entre ambientes, genotipos y en la interacción de ambos factores (tabla 6).

Tabla 6. Significancia detectada en el análisis de varianza combinado: general-genotipo del rendimiento de grano.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Ambientes (A)	10	11381144.0	1138114.38	50.5893	0.00
Genotipos (G)	2	6244208.0	3122104.00	138.7779	0.00
Interacción (A x G)	20	4386128.0	219306.41	9.7482	0.00
Error	99	2227216.0	22497.13		
Total	131	24238696.0			

Fuente: Elaboración propia.
CV = 15.53%

En Loma Bella, en el ciclo de verano de 2012, bajo condiciones de temporal, se obtuvo la mayor producción de grano, la cual fue significativamente superior a la del resto de los ambientes de evaluación, mientras que, como se mencionó anteriormente, los rendimientos promedio más bajos se obtuvieron en el Campo Experimental Ixtacuaco, durante los ciclos de otoño-invierno de 2011 e invierno-primavera de 2012, bajo condiciones de humedad residual (tabla 7).

La variedad Negro Comapa fue la más productiva, a través de los ambientes de validación, con un rendimiento promedio general de 1261 kg ha⁻¹, el cual fue significativamente superior al de las otras dos variedades; a su vez, el rendimiento promedio de la variedad Negro Jamapa también resultó significativamente superior al de la variedad Negro Michigan (tabla 7).

Tabla 7. Rendimiento de grano promedio (kg ha⁻¹) de los 11 ambientes en que se validó la variedad de frijol Negro Comapa, junto con dos testigos comerciales.

Ambiente	Zona	Negro Comapa	Negro Jamapa	Negro Michigan	Promedio (kg ha ⁻¹)
Tesechoacán, José Azueta, I-P 2011, HR	Sur	1294.0	1014.0	644.0	984.0 cd
Rincón Grande, Orizaba, V 2011, T	Centro	938.7	925.0	366.2	743.3 ef
Comején, Acayucan, O-I 2011, HR	Sur	1567.0	789.0	989.0	1115.0 bc
Matacapán, San Andrés Tuxtla, O-I 2011, HR	Sur	1058.2	1068.2	460.2	862.2 def
El Laurel, San Andrés Tuxtla, O-I 2011, HR	Sur	958.5	1003.5	815.0	925.7 cde
CEIXTA, Tlapacoyan, O-I 2011, HR	Norte	785.2	784.7	523.7	697.9 fg
CEIXTA, Tlapacoyan, I-P 2012, HR	Norte	651.7	495.7	399.5	515.7 g
Rincón Grande, Orizaba, V 2012, T	Centro	1423.7	653.7	567.5	881.7 def
Loma Bella, Cosoleacaque, V 2012, T	Sur	2322.0	1080.0	1642.0	1681.3 a
Rincón Grande, Orizaba, O-I 2012, HR	Centro	1272.5	942.5	746.2	987.1 cd
Loma Bella, Cosoleacaque, I-P 2013, HR	Sur	1600.2	1066.5	1025.0	1230.6 b
Promedio (kg ha ⁻¹)		1261.1 a	893.0 b	743.5 c	

Fuente: Elaboración propia.

I-P = Ciclo invierno-primavera; V = Ciclo de verano; O-I = Ciclo otoño-invierno; HR = Condición de humedad residual; T = Condición de temporal; CEIXTA = Campo Experimental Ixtacuaco. Comparador Tukey 0.05: factor ambiente: 202.27, factor genotipo: 76.29.

Análisis de estabilidad de rendimiento

De acuerdo a los parámetros de estabilidad de Eberhart & Russell (1966), la variedad Negro Comapa se clasificó como de buena respuesta en ambientes favorables y consistente ($bi > 1.0$ y $Sd^2 = 0$); la variedad Negro Jamapa también fue consistente, pero respondió mejor en ambientes desfavorables ($bi < 1.0$ y $Sd^2 = 0$), en tanto que la variedad Negro Michigan mostró estabilidad de rendimiento, ya que su coeficiente de regresión y desviación de regresión fue: $bi = 1.0$ y $S^2di = 0$; sin embargo, éste fue el más bajo en todos los ambientes de evaluación.

Discusión

Condición de humedad residual

Bajo esta condición de humedad, los bajos rendimientos de grano que tuvieron las tres variedades en el Campo Experimental Ixtacuaco en los ciclos otoño-invierno 2011 e invierno-primavera 2012 son atribuibles principalmente a la irregular distribución de la precipitación pluvial; en el primer caso, aunque la precipitación pluvial total en el ciclo fue de 503.6 milímetros (mm) (suficiente para cubrir las necesidades hídricas del cultivo de frijol), hubo un periodo de sequía de tres semanas durante la etapa de llenado de vainas, mientras que en el segundo caso, en el que se tuvo una precipitación pluvial de 688.1 mm, ocurrieron dos periodos de sequía superiores a 20 días cada uno: de los 24 a los 45 días después de la

siembra (dds), abarcando parte de la etapa vegetativa y la floración, y de los 61 a los 82 dds, que abarcó parte de las etapas de llenado de vainas y maduración. De acuerdo con Acosta-Gallegos & Kohashi-Shibata (1989) y Padilla, Acosta, Osuna, Acosta & Martínez (2008), el frijol es más sensible al estrés hídrico durante las etapas de floración, llenado de vainas e inicio de maduración. En este sentido, Acosta-Díaz *et al.* (2011) y Tosquy *et al.* (2017) mencionaron que la sequía durante la etapa reproductiva del frijol acorta significativamente el tiempo para llegar a la madurez fisiológica y, en consecuencia, el periodo de llenado de grano, lo que se refleja en una reducción significativa del rendimiento de frijol.

Cabe mencionar que, en las localidades de Tesechoacán y Matacapán, en el ciclo otoño-invierno de 2011, aunque se tuvo una precipitación pluvial suficiente y bien distribuida para el desarrollo del frijol, la variedad Negro Michigan tuvo baja producción de vainas y, por lo tanto, bajo rendimiento. Esta variedad es originaria de California, Estados Unidos, por lo que en algunos ambientes ha mostrado problemas de adaptación en comparación con las variedades locales (Guzmán *et al.*, 2009).

Es importante indicar que los rendimientos más bajos que se obtuvieron en Comején en el ciclo otoño-invierno de 2011, en comparación con los de Loma Bella el ciclo invierno-primavera de 2013, se debieron en gran parte a que el ataque del patógeno que causa la mancha angular ocurrió en una etapa más temprana en la primera localidad. Lo anterior concuerda con De Oliveira *et al.* (2004), quienes indicaron que los efectos negativos de la mancha angular en el rendimiento grano son mayores cuando la enfermedad incide en las primeras etapas de desarrollo del cultivo de frijol.

En general, la respuesta productiva de Negro Comapa bajo condiciones de humedad residual confirmó lo observado por López *et al.* (2010) en ensayos regionales de rendimiento conducidos en cinco localidades durante el ciclo otoño-invierno de 2009-10, en los que Negro Comapa superó en 24.6% el rendimiento de Negro Michigan.

Condición de temporal

Bajo condiciones de temporal, el mayor rendimiento promedio obtenido en Loma Bella en el ciclo de verano de 2012, en comparación con los otros dos ambientes, se debió principalmente a que en esta localidad el cultivo contó con humedad adecuada durante todo el ciclo y no hubo incidencia de patógenos causantes de enfermedades. Por su parte, la superioridad significativa en el rendimiento promedio de Negro Comapa, en comparación con las variedades Negro Jamapa y Negro Michigan, obedeció principalmente a un mayor potencial productivo de esta variedad, con y sin incidencia de enfermedades (López *et al.*, 2012). Cabe señalar que la diferencia en rendimiento de Negro Comapa en Rincón Grande, entre el ciclo de verano de 2011 y el de verano de 2012, se debió a que en el primer ciclo hubo incidencia de mancha angular durante la etapa vegetativa del cultivo y en el segundo ciclo no se presentó esta enfermedad. Aunque se tuvo un ataque de antracnosis en la etapa reproductiva, Negro Comapa resultó resistente y sólo mostró daño ligero.

Es probable que la raza de mancha angular que se presentó en Rincón Grande en el ciclo de verano de 2011, en donde Negro Comapa tuvo una reacción intermedia a esta enfermedad (calificación de 4.0), haya sido diferente a la que incidió en Comején en el ciclo otoño-invierno de 2011 y en Loma Bella en invierno-primavera de 2013, donde Negro Comapa fue calificado como resistente (calificación de 3.0). La existencia de razas de *P. griseola* (agente causal de la mancha angular del frijol) con patogenicidad diferencial ha sido demostrada por diversos autores (Nietsche *et al.*, 2001; Pastor-Corrales, Jara & Singh, 1998).

De acuerdo con los resultados obtenidos, bajo condiciones de temporal, época de alta presión por enfermedades, Negro Comapa es mejor alternativa de siembra que Negro Jamapa y Negro Michigan, variedades comúnmente utilizadas por los productores en el estado de Veracruz (Ugalde-Acosta *et al.*, 2014).

Análisis combinado global

La superioridad en rendimiento de grano promedio general mostrada por Negro Comapa permite asegurar que esta variedad tiene mayor productividad que los materiales de uso común en el estado de Veracruz (López *et al.*, 2010). Esta variedad tuvo un rendimiento de grano superior al de Negro Jamapa y Negro Michigan en nueve de los 11 ambientes de prueba y en los dos ambientes restantes obtuvo un rendimiento similar al de la variedad Negro Jamapa. Es importante mencionar que Negro Comapa también se ha evaluado y validado con resultados sobresalientes en el estado de Chiapas, principal productor de frijol en el sureste de México, por lo que puede recomendarse su siembra en las áreas tropicales de dicha entidad (López *et al.*, 2012; López-Salinas *et al.*, 2015). Además, su grano negro opaco, de tamaño pequeño, reúne las características físicas y de calidad tecnológica que demandan los comercializadores y consumidores en el sureste de México (López *et al.*, 2011b), lo que puede facilitar su adopción por los productores del estado de Veracruz.

La interacción significativa de ambos factores indicó que la respuesta en el rendimiento de algunos de estos genotipos varió con el ambiente de evaluación. Esto ocurrió principalmente con las dos variedades testigo, ya que mientras Negro Jamapa obtuvo un rendimiento de grano muy superior a Negro Michigan en los ambientes de Rincón Grande en verano de 2011, bajo temporal, en Tesechoacán en invierno-primavera de 2011 con humedad residual y en Matacapán en otoño-invierno de 2011, también con humedad residual, la variedad Negro Michigan mostró mayor productividad que Negro Jamapa en Loma Bella, en verano de 2012, en condiciones de temporal y en Comejen, en otoño-invierno de 2011, con humedad residual.

Estabilidad de rendimiento

La estabilidad productiva determinada para Negro Comapa se debió principalmente a que esta variedad mostró alto rendimiento de grano en ambientes sin y con restricciones de humedad por ocurrencia de sequía y de incidencia de mancha angular y antracnosis; es decir, fue consistente, por lo que puede predecirse su respuesta, para los ambientes en que fue evaluada (Carballo & Márquez, 1970).

A su vez, aunque la variedad Negro Jamapa también fue consistente y presentó buena respuesta en ambientes desfavorables, mostró un potencial de rendimiento significativamente menor al de la variedad Negro Comapa, en la mayoría de los ambientes de evaluación. Por su parte, la variedad Negro Michigan tuvo un comportamiento estable en su respuesta, pero su rendimiento promedio fue el más bajo en casi todos los ambientes de evaluación, lo cual está relacionado con su bajo potencial productivo y su susceptibilidad a factores bióticos y abióticos adversos como la sequía y las enfermedades que ocurrieron en algunos de los ambientes de prueba (López *et al.*, 2012; Tosquy *et al.*, 2013).

Conclusiones

La variedad Negro Comapa fue altamente productiva a través de los ambientes de validación, con un rendimiento promedio general de 1261 kg ha⁻¹, significativamente superior al de Negro Jamapa y Negro Michigan. Su superioridad en rendimiento se verificó en los sistemas de producción de humedad residual

y temporal en campos de los productores y bajo el manejo de éstos, con diferentes niveles de estrés ambiental por deficiencias de humedad y presencia de patógenos. Negro Comapa mostró resistencia a la antracnosis y tolerancia a la mancha angular, enfermedades observadas bajo condiciones de temporal en el Centro y Sur de Veracruz. A pesar de un efecto ambiental altamente significativo ($p < 0.001$), Negro Comapa resultó superior o similar al mejor testigo en todos los ambientes de validación, lo que señala su adaptación y estabilidad en ellos.

Referencias

- Acosta-Díaz, E., Hernández-Torres, I., Rodríguez-Guerra, R., Acosta-Gallegos, J. A., Pedroza-Flores, J., Amador-Ramírez, M. D., & Padilla-Ramírez, J. S. (2011). Efecto de la sequía en la producción de biomasa y grano de frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(2), 249-263.
- Acosta-Gallegos, J. A., & Kohashi-Shibata, J. (1989). Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry-bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. *Field Crops Research*, 20(2), 81-93. doi: [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(89\)90054-3](https://doi.org/10.1016/0378-4290(89)90054-3)
- Becerra, E., López, E., & Acosta, J. (2016). Resistencia genética y control químico de la roya del frijol en el trópico húmedo de México. *Agromonía Mesoamericana* 6, 61-67. doi: <https://doi.org/10.15517/AM.V6I0.24807>
- Carballo, C. A., & Márquez, S. F. (1970). Comparación de variedades de maíz del Bajío y de la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia* 5(1), 129-146.
- Castellanos, J. Z., Guzmán, S. H., Jiménez, A., Mejía, C., Muñoz, J., Acosta, J. A., Hoyos, G., López, E., González, D., Salinas, R., González, I. J., Muñoz, J. A., Fernández, P., & Cázares, B. (1997). Hábitos preferenciales de los consumidores de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 47(2), 163-167.
- De Oliveira, E. J., Alzate-Marin, A. L., Borém, A., Melo, C., Barros, E. G., & Moreira, M. A. (2004). Reação de cultivares de feijoeiro comum a quatro raças de *Phaeoisariopsis griseola*. *Fitopatologia Brasileira*, 29(2), 220-223. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-41582004000200018>
- Eberhart, S. A., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36-40. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
- Guzmán, I., Almanza, E., Acosta, J. A., & Guzmán, S. (2009). Estudio comparativo de características de calidad entre genotipos de frijol de grano negro. *Agricultura Técnica en México*, 35(4), 446-454.
- López, E., Tosquy, O., Acosta, J., Villar, B., & Ugalde, F. (2011a). Drought resistance of tropical dry black bean lines and cultivars. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 749-755.
- López, E., Tosquy, O., & Ibarra, F. (2017). Frijol. En R. Zetina & S. Uribe (Comps.). *Agenda Técnica Agrícola Veracruz* (pp. 33-36). Ciudad de México, México: Sagarpa. COFUPRO. INIFAP.
- López, E., Tosquy, O., Jiménez, Y., Salinas, R., Villar, B., & Acosta, J. (2012). Rendimiento y adaptación de la variedad de frijol 'Negro Comapa' en dos regiones de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(4), 309-315.
- López-Salinas, E., Tosquy-Valle, O., Villar-Sánchez, B., Acosta-Gallegos, J., Rodríguez-Rodríguez, J., & Andrés-Meza, P. (2015). Rendimiento y estabilidad de líneas mejoradas de frijol negro en Veracruz y Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(2), 173-181.
- López, E., Tosquy, O., Villar, B., Becerra, E., Ugalde, F., & Cumpián, J. (2006). Adaptabilidad de genotipos de frijol resistentes a enfermedades y a suelos ácidos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(1), 33-39.
- López, E., Tosquy, O., Villar, B., Rodríguez, J., Ugalde, F., & Acosta, J. (2011b). *Negro Comapa nueva variedad de frijol para el estado de Veracruz*. Folleto Técnico Núm. 55. Medellín de Bravo, Ver., México: Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP. Sagarpa.

- López, E., Tosquy, O., Villar, B., Rodríguez, J., Ugalde, F., Morales, A., & Acosta, J. (2010). Negro Comapa, nueva variedad de frijol para el estado de Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(5), 715-721.
- Nietsche, S., Borém, A., de Carvalhos, G. A., de Paula, T. J., Fortes, C., Gonçalves, E., & Alves, M. (2001). Genetic diversity of *Phaeoisariopsis griseola* in the State of Minas Gerais, Brazil. *Euphytica*, 117, 77-84. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1004096421990>
- Padilla, J. S., Acosta, J. A., Osuna, E. S., Acosta, E., & Martínez, M. A. (2008). Respuesta del frijol a la sequía. En M. A. Martínez, E. S. Osuna, J. S. Padilla, J. A. Acosta, & C. Loredó, *Tecnología para la Producción de Frijol en el Norte Centro de México*. Libro Técnico No. 4 (pp. 96-111). San Luis Potosí, SLP, México: Campo Experimental San Luis. CIRNE. INIFAP. Sagarpa.
- Pastor-Corrales, M. A., Jara C., & Singh, S. P. (1998). Pathogenic variation in, sources of, and breeding for resistance to *Phaeoisariopsis griseola* causing angular leaf spot in common bean. *Euphytica* 103(2), 161-171. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1018350826591>
- Rodríguez, J., Tosquy, O., Vázquez, M., Zetina, R., & Díaz, U. (2018). Producción y rentabilidad del frijol como monocultivo y asociado con limón Persa en el norte de Veracruz, México. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 6(2), 2460-2467.
- Rosales, R., Acosta, J. A., Ibarra, F. J., Cuéllar, E. I., & Nava, C. A. (2009). *Validación de variedades y líneas mejoradas de frijol en Durango*. Publicación Especial Núm. 27. Durango, Dgo., México: Campo Experimental Valle del Guadiana. CIRNOC. INIFAP. Sagarpa.
- Rosales, R., Acosta, J. A., Muruaga, J. S., Hernández, G. E., & Pérez, P. (2004). *Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. Libro Técnico Núm. 6. Chapingo Edo. de Méx., México: Campo Experimental Valle de México. CIRCE. INIFAP. Sagarpa.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). (2017). *Planeación agrícola nacional 2017-2030. Frijol Mexicano*. 1a Ed. Subsecretaría de Agricultura. Ciudad de México, México.
- Schoonhoven, A., & Pastor-Corrales, M. A. (Comps.). (1987). *Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). *Avances de siembras y cosechas. Resumen por cultivo*. Ciudad de México, México: SIAP. Sagarpa. Recuperado el 25 de abril de 2018 de http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do
- Tosquy-Valle, O. H., López-Salinas, E., Esqueda-Esquivel, V. A., Acosta-Gallegos, J. A., Ugalde-Acosta, F. J., & Villar-Sánchez, B. (2012). Rendimiento y reacción a enfermedades de genotipos de frijol en condiciones de temporal y humedad residual. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4), 727-737.
- Tosquy-Valle, O. H., López-Salinas, E., Francisco-Nicolás, N., Acosta-Gallegos, J. A., & Villar-Sánchez, B. (2014). Genotipos de frijol negro opaco resistentes a sequía terminal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(7), 1205-1217.
- Tosquy-Valle, O. H., López-Salinas, E., Becerra, E. N., Esqueda, V. A., & Rodríguez, J. R. (2013). Reacción a mancha angular y productividad de genotipos de frijol con y sin aplicación de fungicida. Nota de investigación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(1), 167-174.
- Tosquy, O. H., López, E., Zetina, R., Villar, B., & Rodríguez, J. R. (2017). Producción de genotipos de frijol negro en condiciones de humedad residual y sequía terminal. *Terra Latinoamericana* 35(1), 29-39.
- Tosquy-Valle, O. H., López-Salinas, E., Acosta-Gallegos, J. A., & Villar-Sánchez, B. (2014). Detección de líneas de frijol negro con adaptación en el trópico húmedo del sureste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(6), 911-921.
- Ugalde-Acosta, F. J., López-Salinas, E., Lépiz-Idelfonso, R., Viana-Ruano, A., & Leyva-Vela, S. (2014). Producción artesanal de semilla de frijol con participación municipal en Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 35-44.
- Ugalde-Acosta, F. J., López, E., & Tosquy-Valle, O. H. (2005). Validación de genotipos de frijol negro en la zona central del estado de Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana* 16(1), 1-5. doi: <https://doi.org/10.15517/AM.V16I1.5176>
- Vidal-Barahona, A., Lagunes-Espinoza, L. C., Valadez, E., & Ortiz-García, C. F. (2006). Variabilidad morfológica y molecular de cultivares criollos y mejorados de frijol común en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(4), 273-281.