

ADAPTABILIDAD DE GENOTIPOS DE FRIJOL RESISTENTES A ENFERMEDADES Y A SUELOS ÁCIDOS

ADAPTABILITY OF BEAN GENOTYPES WITH RESISTANCE TO DISEASES AND SOIL ACIDITY

Ernesto López Salinas^{1*}, Óscar Hugo Tosquy Valle¹, Bernardo Villar Sánchez², Enrique Noé Becerra Leor¹, Francisco Javier Ugalde Acosta¹ y Javier Cumpián Gutiérrez³

¹Campo Experimental Cotaxtla, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). Apdo. Postal No. 429. C.P. 91700. Veracruz, Ver. Tel 01 (229) 934-2926. Correo electrónico: salinaser@hotmail.com ²Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP. Apdo. Postal No. 1 Ocozocoautla, Chis. ³Campo Experimental Papaloapan, INIFAP. Apdo. Postal No. 10. Isla, Ver.

* Autor para correspondencia

RESUMEN

La productividad del frijol en la región tropical del sureste de México está limitada principalmente por factores bióticos, entre los que destacan las enfermedades, y factores abióticos como sequía y suelos ácidos. Este trabajo se hizo para identificar genotipos de frijol con adaptación en la región, resistencia a enfermedades y tolerancia a suelos ácidos. Durante el ciclo primavera-verano 1999 y otoño-invierno 1999-2000, se establecieron seis experimentos conformados por 16 genotipos entre los que se incluyeron a las variedades testigo Jamapa y Negro INIFAP, en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Las características cuantificadas fueron: rendimiento de grano y reacción a enfermedades. Con la información obtenida en dos tratamientos de cal en un suelo ácido en Isla, Ver., se calculó el índice de susceptibilidad a suelos ácidos, la media geométrica y el índice de eficiencia relativa del rendimiento. Las líneas Icta Ju 97-1 y DOR-678 obtuvieron el mayor rendimiento a través de los ambientes de prueba. Algunas líneas mostraron resistencia a roya, mosaico dorado y mancha angular, pero no se encontró resistencia a la antracnosis. Las líneas de mejor respuesta en suelos ácidos fueron DOR-678, Icta Ju 93-1 e Icta Ju 97-1. Las líneas DOR-667, Icta Ju 91-37 e Icta Ju 97-1 dieron los mayores índices de eficiencia relativa del rendimiento. Icta Ju 97-1 mostró amplia adaptación, resistencia a roya y mosaico dorado, y tolerancia a antracnosis, mancha angular y a suelos ácidos.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., rendimiento, resistencia genética, hongos, virus, suelos ácidos.

SUMMARY

Common bean productivity in the tropical region of Southeastern México is mainly limited by biotic factors, specially diseases, and abiotic factors such as drought stress and acid soils. This study was carried out in order to identify bean genotypes with adaptability to the region, due to resistance to diseases and tolerance to soil acidity. During the 1999 Spring-Summer and 1999-2000 Fall-Winter growing seasons, six experiments formed with 16 genotypes, including the regional cultivars Jamapa and Negro INIFAP, were established under a randomized complete block design with three replications. The quantified traits dealt with seed yield and reaction to diseases. With the information obtained from two lime treatments in Isla, Ver., the acid

soil susceptibility index, the geometric mean and the relative yield efficiency index were calculated. Lines Icta Ju 97-1 and DOR-678 obtained the highest yield throughout the tested environments. Some lines showed resistance to the diseases: rust, bean golden mosaic virus and angular leaf spot, but no resistance to anthracnoses was found. The best responses in acid soils were achieved by lines DOR-678, Icta Ju 93-1 and Icta Ju 97-1. Lines DOR-667, Icta Ju 91-37 and Icta Ju 97-1 showed the best Relative Yield Efficiency Index. Icta Ju 97-1 showed wide adaptability, resistance to rust and bean golden mosaic virus, tolerance to anthracnos and angular leaf spot, and adaptation to acid soils.

Index words: *Phaseolus vulgaris* L., yield, genetic resistance, fungus, virus, acid soils.

INTRODUCCIÓN

La baja productividad de frijol en los estados de Chiapas y Veracruz con rendimientos medios de 562 y 587 kg ha⁻¹, respectivamente (SAGARPA, 2003), es indicativa de que el cultivo enfrenta un conjunto de problemas entre los que destacan: 1) Errática distribución de lluvias con sequía intraestival en siembras de temporal y sequía terminal al final del ciclo, cuando el cultivo se establece en condiciones de humedad residual (López *et al.*, 2002); 2) Enfermedades como los virus del mosaico común (*BCMV*, por sus siglas en inglés) y del mosaico dorado (*BGMV*, por sus siglas en inglés), la roya (*Uromyces appendiculatus* var. *appendiculatus*), la antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*), la mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*) y la bacteriosis común (*Xanthomonas axonopodis* pv. *Phaseoli*); y 3) Suelos ácidos de baja fertilidad que predominan en el sureste del país.

En el sureste sobresalen los estados de Veracruz con 20 000 ha de frijol sembradas en suelo con pH de la capa arable entre 4.5 y 5.5, localizadas en la zona sur (Zetina *et*

al., 2002), y el de Chiapas con 54 000 ha con problemas de acidez, ubicadas en el centro y en la zona costera (Villar *et al.*, 2002). En este tipo de suelos las plantas presentan problemas de intoxicación por la alta concentración de aluminio intercambiable que afecta las raíces al inhibir la división celular y el desarrollo del sistema radical e interfiere en la movilidad de calcio en la planta (Thung *et al.*, 1985); escasez de fósforo, porque este elemento se combina con sexquióxidos de fierro y aluminio para formar compuestos poco solubles (Cepeda, 1991); y deficiencias de calcio y magnesio, los cuales son lixiviados por la alta precipitación (Zetina *et al.*, 2002). Finalmente, el frijol es afectado por patógenos causantes de pudriciones radiculares que disminuyen la población de plantas y el rendimiento de grano (Mayek *et al.*, 2004).

El programa de frijol del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Programa Cooperativo Regional de Frijol para Centroamérica, México y el Caribe (PROFRIJOL), han generado líneas avanzadas que se distribuyen a los programas nacionales para su evaluación en ensayos. De éstos, el Ensayo Centroamericano de Adaptación y Rendimiento (ECAR) ha servido como fuente de germoplasma mejorado (Viana, 1998). Algunas líneas de frijol negro tropical seleccionadas de estos ensayos, como DOR 60, DOR-390 y DOR-500, han sido liberadas como variedades por el programa de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias para el sureste de México, con los nombres Negro Huasteco-81, Negro Tacaná y Negro Tropical, respectivamente (Yoshii *et al.*, 1987; López *et al.*, 1997; López y Acosta, 2002).

Las evaluaciones de líneas llevadas a cabo en el sureste de México han mostrado variación genética en adaptación y rendimiento (López *et al.*, 1999), en resistencia o tolerancia a las enfermedades (Acosta y Navarrete, 1996; López *et al.*, 2000a), y en la eficiencia del uso de fósforo y la tolerancia a la toxicidad de aluminio y manganeso (Singh *et al.*, 1995; Villar *et al.*, 2003).

El objetivo del presente trabajo fue identificar genotipos de frijol negro con adaptación a las condiciones del sureste del país, así como con resistencia a enfermedades y tolerancia a suelos ácidos para las áreas donde se cultiva frijol en los estados de Veracruz y Chiapas, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El conjunto de genotipos que constituyen el Ensayo Centroamericano de Adaptación y Rendimiento se estableció en seis ambientes. Tres fueron en Veracruz durante el ciclo otoño - invierno 1999 - 2000: uno en Medellín de Bravo (18° 44' LN 95° 32' LO) y dos en Isla (18° 06' LN 95° 32' LO); y tres en Chiapas: dos en Ocozocoautla (16° 46' LN, 93° 15' LO), uno en el ciclo primavera - verano de 1999 y otro en el ciclo otoño - invierno 1999 - 2000, y el tercero en Tapachula (14° 15' LN 92° 15' LO) durante el ciclo otoño - invierno 1999 - 2000. Las principales características ambientales de los sitios de prueba se presentan en el Cuadro 1.

El ensayo incluyó 16 genotipos, de los cuales 12 fueron obtenidos del PROFRIJOL, tres del programa de frijol del Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP y uno de la Universidad de Costa Rica. De los tres materiales del Campo Experimental Cotaxtla, las variedades Jamapa y Negro INIFAP se utilizaron como testigos, porque son las más sembradas por los productores de frijol en ambos estados, excepto en la localidad de Tapachula, donde se utilizó la variedad Negro Tacaná en sustitución de Jamapa, ya que esta última es susceptible al virus del mosaico dorado. En todos los sitios de prueba el ensayo se estableció en diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, donde la parcela experimental constó de tres surcos de 5.0 m de longitud, con separación de 0.60 m, y la parcela útil fue el surco central.

Cuadro 1. Principales características de clima, suelo y ambiente de producción, donde se condujo el ensayo centroamericano de rendimiento en frijol.

Localidad y Estado	Altitud (m)	Precipitación anual (mm)	Temperatura media (°C)	Suelo		Condición de producción
				Textura	pH	
Medellín, Ver.	16	1668	25.5	Franca	6.5	Riego
Isla, Ver.	65	1762	25.0	Arenosa	4.4	Humedad Residual (sin cal)
Isla, Ver.	65	1762	25.0	Arenosa	5.5	Humedad Residual (con cal)
Ocozocoautla, Chis.	846	898	23.6	Arcillosa	6.9	Temporal
Ocozocoautla, Chis.	846	898	23.6	Arcillosa	6.9	Humedad Residual
Tapachula, Chis.	137	2488	26.0	Franca	6.5	Humedad Residual

Al momento de la cosecha se determinó el peso del grano con una báscula de reloj y su humedad con un determinador portátil Multigrain (Dickey John Corp. Auburn, Illinois, U. S. A.). El rendimiento se expresó en kilogramos por hectárea a 14 % de humedad. Mediante el paquete estadístico de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Olivares, 1994) se hicieron análisis por cada sitio de prueba para identificar genotipos sobresalientes en ambientes específicos, así como un análisis combinado para detectar materiales de alto rendimiento promedio en diferentes ambientes. Para la comparación de medias de tratamientos se aplicó la prueba de DMS a un nivel de probabilidad de 0.05.

La reacción a las enfermedades que ocurrieron en forma natural durante el ciclo del cultivo se evaluó en la etapa R 8. En Isla (antracnosis), Medellín de Bravo (roya y mancha angular) y Tapachula (mosaico dorado); en Ocozacoautla, no hubo presencia de enfermedades. En las parcelas experimentales la reacción a enfermedades se cuantificó mediante la escala de 1 a 9 (CIAT, 1987), cuyos valores para las enfermedades son: de 1-3 = resistente, de 4-6 = intermedia y 7-9 = susceptible. Se efectuó análisis de varianza de la reacción a cada enfermedad y separación de medias por DMS a 0.05 de probabilidad. También se hicieron correlaciones simples para determinar el grado de asociación entre la incidencia de cada enfermedad con el rendimiento de grano y la significancia de éstas (Little y Hills, 1998).

La respuesta de los genotipos bajo condiciones de suelo ácido correspondiente al tipo Acrisol con pH 4.4 (Cuadro 1), según clasificación FAO-UNESCO (Dudal, 1968), se evaluó en dos ensayos. En uno se aplicó 1.2 t ha⁻¹ de cal dolomítica al suelo, cantidad suficiente para elevar el pH a 5.5, y el otro ensayo se hizo sin cal. La cal se incorporó al suelo y se incubó 30 d antes de la siembra. Los dos ensayos se fertilizaron con la dosis 20N-20P-00K aplicada al momento de la siembra. El efecto de la acidez del suelo en el rendimiento de grano de cada genotipo se estimó con Índices de Susceptibilidad a la Acidez (ISAi), la Media Geométrica (MGi) y el Índice de Eficiencia Relativa (IERi), con base en la producción del genotipo individual bajo condiciones con y sin cal.

El Índice de Intensidad a la Acidez (IIA) se calculó de acuerdo con Fischer y Maurer (1978): $IIA = 1 - Y_i / Y_c$, donde Y_i = Promedio de rendimiento bajo condiciones de cal y Y_c = Promedio de rendimiento sin aplicación de cal. Para calcular el ISAi de cada cultivar se utilizó una ecuación adaptada por los mismos investigadores: $ISAi = (1 - Y_{ii} / Y_{ci}) / IIA$, donde ISAi = Índice de Susceptibilidad a la Acidez de cada genotipo; Y_{ii} = Promedio de rendimiento de cada genotipo en condiciones de cal; y

Y_{ci} = Promedio de rendimiento de cada genotipo sin aplicación de cal. La MGi se calculó mediante la ecuación: $MGi = (Y_{ii} \times Y_{ci})^{1/2}$, donde MGi = Media geométrica de cada genotipo; y Y_{ii} y Y_{ci} = Rendimiento de cada genotipo bajo condiciones de cal y sin cal, respectivamente (Samper y Adams, 1985). El IERi descrito por Graham (1984), que indica la respuesta promedio de cada genotipo bajo los dos tratamientos evaluados y permite seleccionar los de mayor rendimiento, fue calculado mediante la ecuación: $IERi = (Y_{ii} / Y_i) \times (Y_{ci} / Y_c)$, donde Y_{ii} = Rendimiento del genotipo i sin cal; Y_i = Rendimiento promedio sin cal; Y_{ci} = Rendimiento del genotipo i con cal; y Y_c = Rendimiento promedio con cal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los genotipos evaluados presentaron diferencias estadísticas en su capacidad productiva en todos los ambientes de prueba (Cuadro 2). En los ambientes de Isla, sin cal y con cal y en Tapachula con humedad residual, los testigos Jamapa y Negro INIFAP fueron superados estadísticamente por ocho, diez y dos líneas avanzadas, respectivamente. En Medellín de Bravo bajo riego, el grupo sobresaliente de las líneas estudiadas se comportaron estadísticamente igual a los testigos; mientras que en Ocozacoautla bajo condiciones de temporal y humedad residual, los testigos Jamapa y Negro INIFAP también fueron similares al grupo sobresaliente.

Según el análisis combinado (Cuadro 2), el rendimiento varió significativamente entre ambientes, lo cual se debió principalmente al alto valor obtenido bajo riego en Medellín, en comparación con el resto de los ambientes de prueba. El menor rendimiento promedio se obtuvo en Isla, Ver., en suelo ácido y sin aplicación de cal dolomítica. Las diferencias entre ambientes se debieron principalmente a diferencias de humedad, textura, pH de suelo (Cuadro 1), y a la presencia diferencial de enfermedades. Con la prueba de DMS se detectó un grupo de nueve materiales superiores a los testigos; en este grupo los genotipos de mayor rendimiento fueron Icta Ju 97-1, DOR-678 y DOR-667.

También se detectó efecto significativo en la interacción genotipo x ambiente, lo que señala que la respuesta de los genotipos varió de un ambiente de evaluación a otro. Así, mientras UCR-55 se ubicó en el grupo sobresaliente, de acuerdo con la DMS, en las localidades de Isla, Medellín y Ocozacoautla, lo que se atribuye a su tolerancia a suelos ácidos, antracnosis y mancha angular, lo cual concuerda con lo reportado por investigadores de Costa Rica (Araya y Araya, 2000), en Tapachula fue el genotipo menos rendidor debido a la presencia del virus del mosaico

Cuadro 2. Rendimiento (kg ha⁻¹) de genotipos de frijol negro en seis ambientes de Veracruz y Chiapas, México. Ciclos PV-1999 y OI-1999-2000.

Genotipo	Isla H.R. † sin cal	Isla H.R. † con cal	Medellín R ††	Ocozoc. T †††	Ocozoc. H. R. †	Tapach. H. R. †	Promedio [□]
Icta Ju 91-37	637*	810*	1657*	622*	590	464	797*
Icta Ju 95-50	415	560*	1726*	514*	541	583	723*
DOR-678	676*	614*	1898*	432*	508	1075*	867*
DOR-685	618*	721*	1746*	364	617*	617	781*
DOR-667	688*	802*	1502*	565*	626*	967*	858*
Icta Ju 93-1	705*	636*	1583*	464*	863*	422	778*
Cut-68	119	269	1892*	488*	795*	139	617
Cut- 53	179	480*	1909*	523*	544	157	632
Cut-107	085	272	1643*	536*	726*	214	579
Cut-45	439*	607*	1996*	496*	617*	128	713
Icta Ligero	198	310	1105	541*	428	331	486
Icta Ju 97-1	630*	718*	2167*	520*	436	766	873*
II- 307	327	149	2157*	454*	685*	611	730*
N. INIFAP	274	421	1822*	372	726*	350	661
UCR-55	473*	754*	1908*	510*	533	197	729*
Jamapa	046	101	1657*	385*	398	711[†]	550
DMS (0.05)	288	371	722	244	253	276	155
Ambiente[□]	407	514	1773*	487	602	483	711

† Humedad residual. †† Riego. ††† Temporal. † Variedad Negro Tacaná. * Genotipos superiores estadísticamente (DMS, 0.05); † Promedio de rendimiento del factor ambiente en el análisis combinado. □ Promedio de rendimiento del factor genotipo en el análisis combinado.

dorado al cual es altamente susceptible. Icta Ligero presentó bajos rendimientos en todos los ambientes evaluados, excepto en Ocozocauhtla bajo condiciones de temporal, donde se ubicó entre los mejores genotipos, debido a que es un material muy precoz, característica que le permitió aprovechar mejor la humedad en ambientes de precipitación irregular. A su vez, Icta Ju 97-1 y DOR-678 obtuvieron un rendimiento estadísticamente sobresaliente en todos los ambientes, excepto en Ocozocauhtla en humedad residual. Los testigos regionales tuvieron bajos rendimientos en Isla, Ver., debido al ataque de antracnosis, mientras que en Medellín de Bravo, bajo condiciones de riego, fueron sobresalientes (Figura 1).

Con respecto a la reacción a enfermedades en las localidades de Isla y Medellín de Bravo, Ver., donde además de las altas precipitaciones (556 y 450 mm, respectivamente) que coincidieron en las etapas de floración y llenado de vaina (45 a 60 d después de la siembra), ocurrieron temperaturas frescas de 18° a 20 °C y humedad relativa de 85 %, condiciones favorables para la presencia de la antracnosis. Ésta fue identificada como la raza 73 de *Colletotrichum lindemuthianum* por la manifestación de síntomas que provocaron en las 12 variedades diferenciales (López et al., 2000a). La raza 73 es la de mayor distribución en las áreas tropicales húmedas (Kelly y Vallejo, 2004). En la roya (*Uromyces appendiculatus* var. *appendiculatus*) y mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*) no se identificaron las razas patogénicas que se presentaron. En Tapachula, Chis., debido al retraso de la siembra, el cultivo coincidió con grandes poblaciones de mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) lo que condujo a una alta incidencia del virus del mosaico dorado (BGMV), donde esta enfermedad

es endémica; en las demás localidades esta enfermedad tuvo una baja incidencia, con una severidad de 1 a 10 % (Cuadro 3).

Entre genotipos se detectaron diferencias significativas en las reacciones a antracnosis, mancha angular, virus del mosaico dorado y roya (Cuadro 3). Aunque no hubo resistencia a la antracnosis en los materiales estudiados, en ambos ambientes de evaluación de Isla, Ver. las líneas UCR-55, Icta Ju 93-1, Cut-45 e Icta Ju 97-1 resultaron con reacción intermedia a la enfermedad. Icta Ju 93-1 no confirmó su resistencia a esta enfermedad en uno de los ambientes de Isla, Ver. Estos resultados permitieron detectar el bajo nivel de resistencia en el germoplasma mejorado del ECAR, tanto local como el introducido por PROFRIJOL (Viana, 1998).

Con relación a la roya, un grupo de 11 genotipos resultaron estadísticamente similares entre sí, con los menores valores. UCR-55, Cut- 45 e Icta Ju 97-1 presentaron síntomas muy leves de esta enfermedad, por lo que se clasificaron como resistentes (CIAT, 1987). El testigo Jamapa fue la única variedad que resultó susceptible a la roya. Para el virus del mosaico dorado, 12 materiales presentaron similitud estadística con valores menores a seis en su reacción a la enfermedad, pero sólo las líneas Icta Ligero, Icta Ju 97-1 e Icta Ju 95-50 fueron resistentes, con calificaciones iguales o menores a tres. El resto de los materiales, que incluyen al testigo Negro INIFAP, fueron moderadamente susceptibles a la enfermedad. Referente a la mancha angular, aunque la DMS detectó un grupo superior de siete materiales, sólo II 307 fue resistente, mientras que Icta Ligero, debido a su precocidad (65 d a madurez fisiológica) presentó escape a la enfermedad; resultados similares han

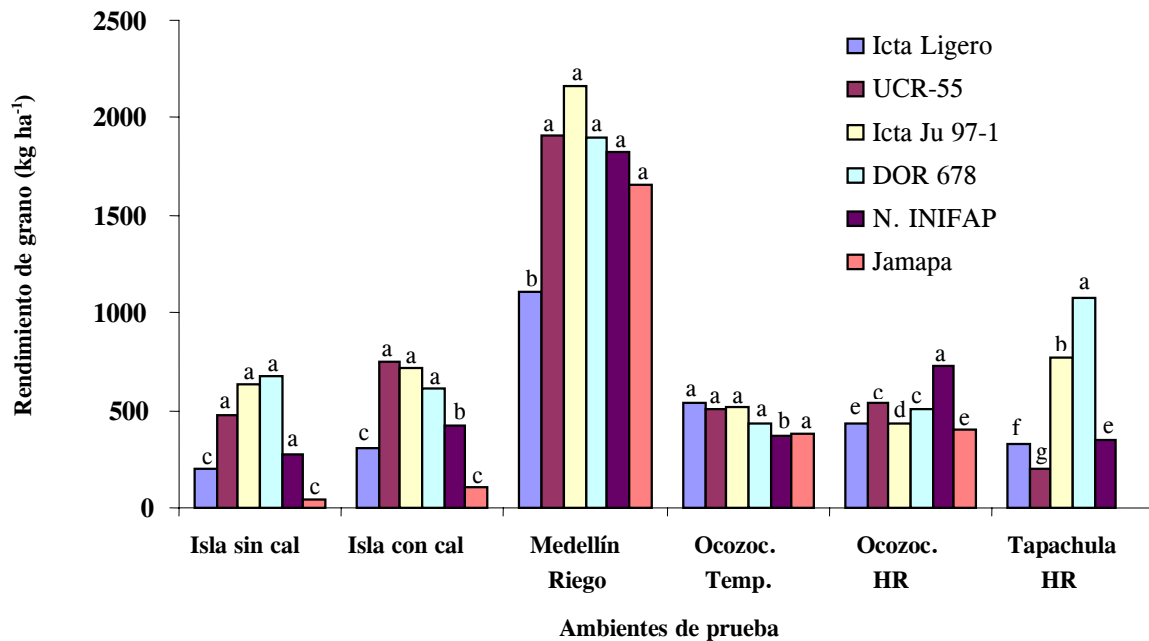


Figura 1. Comportamiento productivo de seis genotipos de frijol en los ambientes de prueba. (Riego, temporal y humedad residual HR). Barras con la misma letra en cada ambiente de prueba, muestran a los genotipos que fueron similares entre sí (DMS, 0.05).

Cuadro 3. Reacción de 16 genotipos de frijol al ataque de cuatro enfermedades en tres localidades de Veracruz y Chiapas. Ciclo OI-1999-2000.

Genotipo	Antracnosis ¹	Antracnosis ²	Roya ³	Mosaico dorado ⁴	Mancha angular ⁵
Icta Ju 97-1	5.7	5.7	2.7	2.9	5.3*
DOR-678	7.0	6.0	5.7*	3.6	6.0*
DOR-667	5.3	6.7*	3.3	3.1	6.3*
Icta Ju 91-37	7.3*	8.0*	6.7*	3.2	7.3*
DOR-685	6.0	6.7*	5.3*	3.2	4.0
Icta Ju 93-1	2.7	5.3	3.3	5.0	7.3*
II-307	9.0*	8.3*	3.7	5.8	2.3
UCR-55	4.0	4.0	2.0	6.9*	4.0
Icta Ju 95-50	7.7	6.7*	3.7	3.0	5.0*
Cut-45	5.3	5.0	2.0	5.7	4.7
N. INIFAP	7.7*	6.7*	4.0	6.4*	3.3
Cut-53	9.0*	8.3*	3.7	5.8	6.3*
Cut-68	9.0*	9.0*	5.3*	6.4*	7.3*
Cut-107	8.7*	9.0*	4.0	6.3*	7.0*
Jamapa	8.3*	9.0*	7.7*	3.2†	3.7
Icta Ligero	8.3*	8.3*	3.0	1.0	0.0
Promedio	6.9	7.0	4.2	4.5	5.1
ANVA(s)	**	**	**	**	**
DMS (0.05)	1.97	2.41	2.44	0.82	2.52
Coef. de correlación ENF vs RG	-0.74	-0.71	-0.01	-0.58	0.20
	**	**	ns	*	ns

¹ Isla sin cal. ² Isla con cal. ³ Medellín de Bravo. ⁴ Tapachula. ⁵ Medellín de Bravo.

† El testigo en Tapachula, Chiapas, fue Negro Tacaná, por la susceptibilidad del testigo Jamapa al virus del mosaico dorado. ENF = Enfermedades; RG = Rendimiento de grano; *Significativo a 0.05; **Significativo a 0.01; ns = No significativo.

sido documentados para Icta Ligero por López *et al.* (2000b).

Las enfermedades que afectaron significativamente el rendimiento de grano fueron antracnosis en Isla ($r = -0.74^{**}$ y -0.71^{**}), seguida del virus del mosaico dorado en Tapachula ($r = -0.58^*$), mientras que la reacción a roya y mancha angular no mostraron correlación con el rendimiento. Esto pone de manifiesto la importancia que tienen la antracnosis y el mosaico dorado en estas regiones productoras de frijol, ya que si se presentan las condiciones de ambiente de 18 a 20 °C y 85 % de humedad relativa para el desarrollo de la antracnosis (Chávez, 1980) y más de 30 °C y altas poblaciones de mosquita blanca para el *BGMV*, pueden provocar pérdidas de 30 a 100 % en las siembras comerciales (Rodríguez y Yoshii, 1990). Esto evidencia la necesidad de introducir fuentes de resistencia a las razas prevalecientes para generar genotipos con resistencia a estas enfermedades. Por otra parte, la falta de asociación entre la incidencia de roya y mancha angular con el rendimiento de grano se debió a que estas enfermedades ocurrieron tardíamente en el ciclo, durante la etapa de formación de vaina.

El rendimiento de los genotipos en suelo ácido, así como los índices MG_i, IS_{Ai} e IER_i, se muestran en el Cuadro 4. Hubo diferencias significativas entre genotipos y entre niveles de cal, pero no en la interacción de ambos factores. El rendimiento promedio de los genotipos fue superior en 26 % en el tratamiento con cal, con respecto al obtenido sin cal. Se han reportado mayores incrementos en el rendimiento con esta tecnología, en el centro de Chiapas

y América del sur (Villar *et al.*, 2003; Fontes *et al.*, 1985).

Las mejores respuestas en condiciones de suelo ácido correspondieron a las líneas DOR-678, Icta Ju 93-1 e Icta Ju 97-1, las cuales presentaron índices de susceptibilidad cercanos a cero (Fisher y Maurer, 1978). Cuando el suelo se trató con cal, los mayores porcentajes de incremento en el rendimiento se obtuvieron con Cut-107, Cut-53 y Cut-68; pero estas líneas presentaron los menores rendimientos en ambas condiciones, lo que sugiere falta de adaptación al sitio de prueba. DOR-667, Icta Ju 91-37, Icta Ju 97-1, Icta Ju 93-1 y DOR-685 presentaron Índices de Eficiencia Relativa superiores a 2.0 y los más altos valores de medias geométricas. Ambos índices clasificaron en forma similar a los genotipos y estuvieron altamente asociados con el rendimiento de grano de éstos, lo cual concuerda por lo reportado por Mayek *et al.* (2003). Estas líneas superaron significativamente en rendimiento a los testigos Jamapa y Negro INIFAP (Cuadro 4).

Se deduce que la práctica del encalado en suelos ácidos, es una buena alternativa para incrementar significativamente el rendimiento de frijol. También se determinó que algunas líneas avanzadas tienen una mejor respuesta a suelos ácidos que las variedades comerciales de actual uso. Tales líneas podrían ser utilizadas en áreas específicas con problemas de acidez, y como fuente de resistencia en los programas de mejoramiento genético.

Cuadro 4. Rendimiento promedio sin cal y con cal e Índices de Susceptibilidad a Suelos Ácidos (IS_{Ai}), Media Geométrica (MG_i) y Eficiencia Relativa (IER_i) de genotipos de frijol establecidos en un suelo ácido en Isla, Ver., México.

Genotipo	Sin cal (kg ha ⁻¹)	Con cal (kg ha ⁻¹)	Incremento (%)	IS _{Ai}	MG _i	IER _i
DOR-667	688	802	16.6	0.7	743	2.6
Icta Ju 91-37	637	810	27.2	1.0	718	2.5
Icta Ju 97-1	630	718	14.0	0.6	673	2.2
Icta Ju 93-1	705	636	-9.8	-0.5	670	2.1
DOR-685	618	721	16.7	0.7	667	2.1
DOR-678	676	614	-9.2	-0.5	644	2.0
UCR-55	473	754	59.4	1.8	597	1.7
Cut-45	439	607	38.3	1.3	516	1.3
Icta Ju 95-50	415	560	34.9	1.2	482	1.1
N. INIFAP	274	421	53.6	1.7	340	0.6
Cut-53	179	480	168.2	3.0	293	0.4
Icta Ligero	198	310	56.6	1.7	248	0.3
II-307	327	149	-54.4	-5.7	221	0.2
Cut-68	119	269	126.1	2.7	179	0.2
Cut-107	085	272	220.0	3.3	152	0.1
Jamapa	046	101	119.6	2.6	068	0.0
Promedio	407	514	26.3	1.0	451	1.2
Coef. de correlación				-0.19	0.99	0.98
RG vs I[†]				ns	**	**

[†]RG = Rendimiento de grano promedio sin cal y con cal; I = Índices.

CONCLUSIONES

Icta Ju 97-1 y DOR-678 fueron los mejores genotipos con rendimientos superiores a 860 kg ha⁻¹ y adaptabilidad en los ambientes de prueba. La primera presentó la mejor adaptación, con resistencia a roya (2.7), y a mosaico dorado (2.9), con tolerancia a la antracnosis (5.7) y a la mancha angular (5.3), así como buen índice de susceptibilidad a suelos ácidos (0.6).

No se encontraron líneas resistentes a la antracnosis. UCR-55, Cut-45 e Icta Ju 97-1 mostraron resistencia a roya. Icta Ligero, Icta Ju 97-1 e Icta Ju 95-50 fueron resistentes a mosaico dorado y II-307 a la mancha angular. Las líneas DOR-678, Icta Ju 93-1 e Icta Ju 97-1 presentaron las mejores respuestas a los suelos ácidos de Isla, Ver. Los mayores rendimientos promedios (con cal y sin cal) se obtuvieron con: DOR-667, Icta Ju 91-37 e Icta Ju 97-1.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta G J A, R Navarrete M (1996) Search for multiple disease resistance in common bean. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 39:58-59.
- Araya C M, R Araya (2000) Avances en la selección de fuentes de resistencia a las principales enfermedades del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en Costa Rica. *Agron. Mesoam.* 11 (2):25-30.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT (1987) Sistema Estándar para la Evaluación de Germoplasma de Frijol. A van Schoonhoven, A M Pastor-Corrales (comps). Cali, Colombia. 56 p.
- Cepeda D J M (1991) Química de Suelos. 2a Ed. Editorial Trillas. México, D. F. 167 p.
- Chávez G (1980) La antracnosis en frijol. *In: Problemas de Producción de Frijol.* H F Schwartz, G E Galvez (eds). Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. pp:37-53.
- Dudal R (1968) Definition of soil units for the soil map of the world. *FAO. Rome. World Resource Report* 33. 96 p.
- Fisher R A, R Maurer (1978) Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29:897-912.
- Fontes L A N, F Gómez R, C Vieira (1985) Resposta do feijoeiro a aplicação de N, P, K e calcário na zona de Matas, Minas Gerais. *Rev. Ceres* 12 (71):265-285.
- Graham R D (1984) Breeding for nutritional characteristics in cereals. *Adv. Plant Nutr.* 1:57-102.
- Kelly J D, V A Vallejo (2004) A comprehensive review of the major genes conditioning resistance to anthracnoses in common bean. *HortScience* 39:1196-1207.
- Little M T, F J Hills (1998) Métodos Estadísticos para la Investigación en la Agricultura. 2a Ed. Paula Crespo. (trad). Editorial Trillas. México, D. F. pp:145-164.
- López E, J A Acosta, E N Becerra, G Fraire, S Orozco, S Beebe (1997) Registration of Negro Tacaná Common Bean. *Crop Sci.* 37 (3):1022.
- López S E, J A Acosta G, O Cano R, G Fraire V, J Cumpian G, N Becerra L, B Villar S, F Ugalde A (1999) Estabilidad de rendimiento de la línea de frijol negro DOR-500 en el trópico húmedo de México. *Agron. Mesoam.* 10:69-74.
- López S E, J A Acosta G, E Awale H, J Kelly D (2000a) An unusual outbreak of anthracnose in the low lands of Veracruz, Mexico. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 43:182-183.
- López S E, J Cumpian G, E N Becerra L, B Villar S, F J Ugalde A, J A Acosta G (2000b) Adaptación y rendimiento de la variedad de frijol negro Medellín en el sureste de México. *Agron. Mesoam.* 11:47-52.
- López S E, J A Acosta G (2002) Negro Tropical, una nueva variedad de frijol para el trópico húmedo de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25 (1):117-118.
- López S E, E N Becerra L, O Cano R, V O López G (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.
- Mayek P N, C López C, E López S, J Cumpián G, I C Joaquín T, J S Padilla R, J A Acosta G (2003) Effect of *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. on grain yield of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and its relationship with yield stability parameters. *Rev. Mex. Fitopatol.* 21 (2):168-175.
- Mayek P N, E López S, J Cumpián G, J A Acosta G (2004) Reacción de germoplasma de frijol común a *Macrophomina phaseolina* en condiciones de riego-secano en Veracruz, México. *Agron. Mesoam.* 15 (1):45-51.
- Olivares S E (1994) Paquete de diseños experimentales [CD-ROM computer file]. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, Nuevo León.
- Rodríguez R R J, K Yoshii O (1990) Tolerancia varietal del frijol a mosaico dorado y control químico del vector *Bemisia Tabaci* Geen en Papantla, Veracruz. *Agric. Téc. Méx.* 16 (1-2):19-36.
- SAGARPA (2003) Anuarios estadísticos de la producción agrícola [CD-ROM computer file]. Servicio de Información y Estadística Agropecuaria y Pesquera. México, D. F.
- Samper C, W Adams M (1985) Geometric mean of stress and control yield as a selection criterion for drought tolerance. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 28:53-54.
- Singh P S, C Takegami J, G Muñoz C (1995) Screening common bean for sources of tolerance of low soil fertility. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 43:54-55.
- Thung M, J Ortega, O Erazo (1985) Tamizado para identificar frijoles adaptados a suelos ácidos. *In: Frijol: Investigación y Producción.* M López, F Fernández, A van Schoonhoven (eds). CIAT, Cali, Colombia. pp:313-346.
- Viana R A (1998) Flujo de Germoplasma e Impacto del PROFRIJOL en centroamérica. PROFRIJOL, Guatemala, Guatemala, C. A. 48 p.
- Villar S B, E Garrido R, A López L, F J Cruz Ch (2002) Manual para Producción de Frijol en el Estado de Chiapas. Publicación especial No. 1. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozacoatlá de Espinosa, Chiapas, México. 165 p.
- Villar S B, E López S, J A Acosta G (2003) Selección de genotipos de frijol por rendimiento y resistencia al mosaico dorado y suelos ácidos. *Rev. Fitotec. Mex.* 26 (3):109-114.
- Yoshii O K, J R Rodríguez R, S Núñez G, N Carrizales M, J F Ibarra P, P Pérez G (1987) Rendimiento y adaptación de la línea D-145 tolerante al mosaico dorado del frijol en el sureste de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 9:57-63.
- Zetina L R, L Pastrana A, J Romero M, J A Jiménez Ch (2002) Manejo de Suelos Ácidos para la Región Tropical Húmeda de México. Libro Técnico Num. 10. INIFAP. CIRGOC. Campos Experimentales Papaloapan y Huimanguillo. México. 170 p.