

SELECCIÓN DE GENOTIPOS DE FRIJOL CON ADAPTACIÓN A SUELOS ÁCIDOS

Selection of Common Bean Genotypes Adapted to Acid Soils

Oscar Hugo Tosquy Valle^{1‡}, Ernesto López Salinas¹, Rigoberto Zetina Lezama¹,
Francisco Javier Ugalde Acosta¹, Bernardo Villar Sánchez¹ y Javier Cumpián Gutiérrez¹

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue identificar genotipos de frijol con adaptación a suelos ácidos, que muestren rendimiento alto con y sin aplicación de dolomita. Durante los ciclos otoño-invierno de 1999, 2000, 2002 y 2004 se establecieron dos experimentos en el mismo suelo de Isla, Veracruz, México con pH inicial de 4.3; en un experimento, por única vez en 1999, se incorporaron al suelo 1.25 Mg ha⁻¹ de dolomita, 30 días antes de la siembra, y el otro experimento se mantuvo sin aplicación de dolomita. Se evaluaron las líneas DOR-454, DOR-448 y UCR-55 y las variedades Icta Liger Negro 8025, Negro Tropical, Negro Medellín y Negro Jamapa (testigo regional). Cada unidad experimental consistió en tres surcos de 5 m de longitud, separados 0.60 m y se cosechó como parcela útil el surco central. Se utilizó el diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Se midió el pH del suelo y el rendimiento de grano ajustado a 14% de humedad. Con los datos de rendimiento de cada ensayo se realizó un análisis combinado (años-genotipos) y para la separación de medias se usó la DMS ($\alpha = 0.05$). El efecto de la acidez del suelo sobre el rendimiento de cada genotipo se estimó con la media geométrica (MGi) y el índice de eficiencia relativa (IERi). Negro 8025, DOR-454, Negro Medellín y DOR-448 superaron el rendimiento del testigo Negro Jamapa, con y sin dolomita. Con la aplicación de dolomita, el porcentaje mayor de incremento en el rendimiento se observó en Icta Liger (105%), Negro 8025 (58%) y Negro Medellín (53%). El uso de la MGi y el IERi permitió identificar como sobresalientes a DOR-454 (547.2 kg ha⁻¹, 1.6), Negro 8025 (518.7 kg ha⁻¹, 1.5) y DOR-448 (511.4 kg ha⁻¹, 1.4), que presentaron la eficiencia mayor en el rendimiento con y sin dolomita.

Palabras clave: Phaseolus vulgaris, encalado de suelo, índices, rendimiento.

SUMMARY

In Southern Veracruz, Mexico, common bean is sown in acid soils that reduce crop productivity. The objective of this study was to identify genotypes of common bean that are adapted to acid soils and produce high yields with or without dolomite application. In each of the 1999, 2000, 2002, and 2004 fall-winter growing seasons, two experiments were established in the same soil in Isla, Veracruz, Mexico, with an initial pH of 4.3 in water. In one experiment conducted in 1999, 1.25 Mg ha⁻¹ dolomite was applied to the soil 30 days before sowing and, in the other, no dolomite was applied. The experimental lines DOR-454, DOR-448, UCR-55, and the varieties Icta Liger Negro 8025, Negro Tropical, Negro Medellín, and Negro Jamapa (regional check) were evaluated. Each plot comprised three 5 m long rows, with a 0.60 m row separation. Data were collected from the central row. A randomized complete block design with three replications was used. Soil pH and grain yield adjusted to 14% moisture were measured. With the yield data of each test a combined analysis (years-genotypes) was performed, and for mean separation the LSD test ($\alpha = 0.05$) was used. The effect of soil acidity on grain yield of each genotype was estimated using the geometric mean (GMi) and the relative efficiency index (REIi). Yields of Negro 8025, DOR-454, Negro Medellín and DOR-448 were significantly higher than that of the regional control Negro Jamapa, with and without dolomite. When dolomite was applied, higher yield increases were obtained with Icta Liger (105%), Negro 8025 (58%), and Negro Medellín (53%). By using the GMi and REIi, it was possible to identify DOR-454 (547.2 kg ha⁻¹, 1.6), Negro 8025 (518.7 kg ha⁻¹, 1.5), and DOR-448 (511.4 kg ha⁻¹, 1.4) as outstanding, since they showed the highest yield efficiency with and without dolomite.

¹ Campo Experimental Cotaxtla, INIFAP. km 34 carr. Veracruz-Córdoba, Medellín de Bravo, Veracruz, México.

[‡] Autor responsable (tosquy.oscar@inifap.gob.mx)

Index words: *Phaseolus vulgaris*, *soil liming*, *indexes*, *yield*.

INTRODUCCIÓN

En el sur de Veracruz se siembran 20 000 ha de frijol, predominantemente en suelos ácidos, caracterizados por el contenido bajo de calcio (Ca) y magnesio (Mg), y porcentaje alto de saturación de aluminio (Al), que son características que reducen su desarrollo y productividad (Zetina-Lezama *et al.*, 2005). La variedad Negro Jamapa es la más sembrada por los productores de esa región (López-Salinas *et al.*, 2006).

El proceso de acidificación del suelo se atribuye, en gran parte, a la precipitación pluvial alta, el contenido alto de arena en el suelo, la facilidad para la lixiviación y arrastre de bases intercambiables, así como al uso de dosis altas de fertilizantes nitrogenados y la falta de prácticas de conservación de nutrientes del suelo (Aguilar-Santelises *et al.*, 1994).

El frijol se cultiva en Acrisoles y Cambisoles, los cuales son de textura arenosa, tienen pH inferior a 5.0 y materia orgánica (MO) menor de 1.0%, lo que les confiere capacidad baja de intercambio catiónico (CIC) (Zetina-Lezama *et al.*, 2005).

En los Cambisoles y Acrisoles se obtiene un rendimiento promedio menor de 300 kg ha⁻¹ (López-Salinas *et al.*, 2002), debido a la deficiencia nutricional de las plantas, ocasionada por la lixiviación constante del Ca, Mg y potasio (K) (Brady y Weil, 1999; Zetina-Lezama *et al.*, 2002); por la disponibilidad baja de fósforo (P) (López-Bucio *et al.*, 2000; Fragoso *et al.*, 2005) y por la concentración alta de Al intercambiable. La concentración alta de Al provoca toxicidad para la planta y crecimiento reducido de las raíces, las cuales se tornan resbaladizas, poco ramificadas y quebradizas (Zetina-Lezama *et al.*, 2002).

La aplicación de dolomita es una opción buena para disminuir, a corto plazo, los efectos nocivos de la acidez del suelo (Zetina-Lezama *et al.*, 1995; Castañón-Nájera y Latournerie-Moreno, 2004) e incrementar el rendimiento del frijol en suelos ácidos (Villar-Sánchez *et al.*, 2003; López-Salinas *et al.*, 2006). La incorporación correcta y oportuna de dolomita al suelo favorece el suministro de Ca y Mg, incrementa la disponibilidad de P, K y molibdeno (Mo), elimina la toxicidad por Al y manganeso (Mn), incrementa la actividad microbiana y mejora la estructura del suelo (Brady y Weil, 1999).

En Isla, Ver., se encontró que la respuesta más favorable con frijol se obtiene con la aplicación de 1.25 Mg ha⁻¹ de dolomita (López *et al.*, 1995). El productor evita la incorporación de cal, debido principalmente al costo alto de este insumo y su aplicación (Aguilar-Santelises *et al.*, 1994). Además, existe dificultad para conseguir dolomita en la región, lo que incrementa aún más los costos por concepto de traslado (Zetina-Lezama *et al.*, 2002).

Una opción más económica y viable para el productor es disponer de variedades adaptadas a los suelos ácidos del sur de Veracruz. El mejoramiento genético del frijol ha permitido desarrollar germoplasma adaptado a las condiciones edáficas de disponibilidad baja de nutrientes y con problemas de toxicidad (Singh *et al.*, 1995). En el altiplano de México se identificó germoplasma de frijol tolerante a la disponibilidad baja de P y se demostró la existencia de variabilidad genética para esta característica (Acosta-Gallegos *et al.*, 1995). A su vez, en el sureste de México, la evaluación de líneas de frijol en suelos ácidos ha demostrado que existe variabilidad genética para la eficiencia del uso del P y tolerancia a la toxicidad de Al (Villar-Sánchez *et al.*, 2003; López-Salinas *et al.*, 2006).

La variabilidad genética para la adaptación del frijol en suelos con P escaso y con toxicidad de Al puede utilizarse en la selección de progenitores para los programas de mejoramiento genético de la especie (Araya y Acosta, 2000). También es posible generar líneas con adaptación a suelos ácidos que en un futuro puedan utilizarse como variedades comerciales (López *et al.*, 1995). El objetivo del presente trabajo fue identificar genotipos de frijol con adaptación a suelos ácidos del sur de Veracruz que muestren eficiencia mayor en el rendimiento que el testigo Negro Jamapa, con y sin aplicación de dolomita.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron dos experimentos en el sitio experimental Papaloapan, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Isla, Ver. La siembra se realizó en condiciones de humedad residual durante los ciclos otoño-invierno de 1999, 2000, 2002 y 2004; en los años 2001 y 2003 el suelo permaneció en descanso, sin que se realizara en él ninguna actividad agrícola o pecuaria. El sitio de siembra presenta clima cálido subhúmedo Aw₀ (García, 1987), temperatura media anual de 25 °C y

precipitación pluvial anual de 1000 mm. El suelo es del tipo Cambisol dístrico (FAO-UNESCO, 1977), extremadamente ácido, textura franco arenosa, pobre en MO, medianamente pobre en nitrógeno (N) total, disponibilidad media de P aprovechable, extremadamente pobre en K, Ca y Mg intercambiable, contenido de Al intercambiable bajo, al igual que su CIC (López-Collado, 1998) (Cuadro 1).

En el suelo donde se estableció uno de los experimentos se aplicó por única vez en 1999, 1.25 Mg ha⁻¹ de dolomita [tamaño de partícula de 0.15 mm (sólo 1% de sus partículas es retenida por la malla 100) y un contenido de 74% de CaCO₃ y 25% de MgCO₃] (Zetina-Lezama *et al.*, 2002). La aplicación de dolomita se hizo al voleo, en forma manual, y luego se incorporó al suelo a una profundidad aproximada de 20 cm, 30 días antes de la siembra, para dar oportunidad a la reacción del material aplicado con el suelo (Castellanos-Ramos *et al.*, 2000). El otro experimento sembrado en el mismo suelo se conservó sin aplicación de dolomita. En ambos experimentos se evaluaron ocho genotipos de diferentes orígenes y se incluyó como testigo regional a la variedad Negro Jamapa (Cuadro 2).

El diseño estadístico fue de bloques completos al azar, con tres repeticiones; la parcela experimental constó de tres surcos de 5.0 m de longitud distanciados a 0.60 m y se cosechó como parcela útil el surco central completo. La siembra se realizó en el mes de octubre en los cuatro ciclos de evaluación y se depositaron 15 semillas por metro lineal, para obtener una población inicial de 250 000 plantas ha⁻¹. Se fertilizó en banda en el momento de la siembra con la dosis 20-20-00 kg (N-P₂O₅-K₂O), para lo cual se utilizaron como fuentes de nutrientes urea y superfosfato de calcio triple. El control de la maleza se realizó de acuerdo con las recomendaciones

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo del sitio experimental.

Característica	Valor
Textura [†]	Migajón arenosa
Arena (%)	69.8
Limo (%)	23
Arcilla (%)	7.2
pH (en agua, relación suelo-solución 1:2) [‡]	4.3
Materia orgánica (%) [§]	0.64
Nitrógeno total (%) [¶]	0.083
Fósforo disponible (mg kg ⁻¹ de suelo) [#]	19
Potasio intercambiable (cmol _c kg ⁻¹ de suelo) ^{††}	0.054
Calcio intercambiable (cmol _c kg ⁻¹ de suelo) ^{††}	0.115
Magnesio intercambiable (cmol _c kg ⁻¹ de suelo) ^{††}	0.066
Aluminio intercambiable (cmol _c kg ⁻¹ de suelo) ^{††}	1.18
Saturación de aluminio (%)	83.42
Capacidad de intercambio catiónico (cmol _c kg ⁻¹ de suelo) ^{§§}	12.8

Metodologías empleadas: [†] Bouyoucos (1951). [‡] Potenciómetro (Goijberg-Rein y Aguilar-Santelises, 1987). [§] Digestión húmeda (Walkley, 1947). [¶] Kjeldahl-Gunning, (Bremner, 1965). [#] Carolina del Norte (Cajuste, 1987). ^{††} Acetato de amonio 1 N, pH 7 (Barnhisel y Bertsch, 1982). ^{§§} Extracción con cloruro de potasio 1 N (Barnhisel y Bertsch, 1982). ^{§§} Acetato de amonio 1 N (Aguilar-Noh, 1987).

del INIFAP para producir frijol en el sur de Veracruz (López-Salinas *et al.*, 1994). El pH del suelo se midió en agua (relación 1:2 suelo-solución) con un potenciómetro (Goijberg-Rein y Aguilar-Santelises, 1987). En el primer año de estudio, cinco días antes de la aplicación de dolomita, se obtuvo una muestra compuesta de suelo conformada por ocho submuestras, las cuales se colectaron en puntos ubicados en zigzag en el terreno experimental, a una profundidad de 0 a 30 cm. En los años posteriores, el muestreo se realizó en

Cuadro 2. Descripción y origen de los genotipos de frijol negro evaluados en un suelo ácido, con y sin aplicación de dolomita, en Isla, Ver.

Genotipo	Descripción	Origen
DOR-454	Línea avanzada	CIAT [†] , Colombia
DOR-448	Línea avanzada	CIAT, Colombia
UCR-55	Línea experimental	Universidad de Costa Rica
Icta Ligero	Variedad mejorada	ICTA [‡] , Guatemala
Negro 8025	Variedad mejorada	INIFAP [§] - CIAT
Negro Tropical	Variedad mejorada	INIFAP, México
Negro Medellín	Variedad mejorada	INIFAP, México
Negro Jamapa (TR) [¶]	Variedad mejorada	INIFAP, México

[†] Centro Internacional de Agricultura Tropical. [‡] Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola. [§] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. [¶] TR = testigo regional.

el terreno enalado, 15 días antes de la siembra. La cosecha se realizó manualmente en la segunda quincena de enero y el grano se limpió, se pesó y se determinó su humedad con un medidor portátil Multigrain (Dickey John Corp. Auburn, IL, EE. UU). El rendimiento se expresó en kilogramos por hectárea, ajustado a 14% de humedad.

Con los datos de rendimiento se realizó un análisis combinado (años-genotipos) con el uso del programa estadístico SAS, versión 8 (SAS Institute, 1999). Cuando se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos, se aplicó la prueba de separación de medias basada en la diferencia mínima significativa (DMS, $\alpha = 0.05$).

El efecto de la acidez del suelo sobre el rendimiento de grano de cada genotipo se estimó con la media geométrica (MGi) y el índice de eficiencia relativa (IERi). Para calcular la MGi de cada genotipo se utilizó la ecuación:

$$MGi = (Y_i \times Y_{c_i})^{1/2}$$

donde: MGi = media geométrica de cada genotipo, Y_i y Y_{c_i} = rendimiento de cada genotipo sin y con aplicación de dolomita, respectivamente.

El IERi (Graham, 1984) representó la respuesta promedio de cada genotipo en los dos tratamientos evaluados y se calculó mediante la ecuación:

$$IERi = (Y_i / \bar{Y}_i) (Y_{c_i} / \bar{Y}_c)$$

donde: IERi = índice de eficiencia relativa de cada genotipo; Y_i = rendimiento del genotipo i sin dolomita, \bar{Y}_i = promedio general de rendimiento sin dolomita, Y_{c_i} = rendimiento del genotipo i con dolomita y \bar{Y}_c = promedio general de rendimiento con dolomita.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento entre Años

El análisis estadístico combinado mostró diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para el rendimiento de grano entre años de evaluación, con y sin aplicación de dolomita. Con aplicación de dolomita, los rendimientos promedio de grano más altos se obtuvieron en 1999 y 2000, mientras que el más bajo se registró en 2004 (Cuadro 3). En 1999 el incremento en el rendimiento se debió a una precipitación pluvial mayor durante

el periodo reproductivo, ya que se registraron 202.9 mm, mientras que, en el año 2000, aunque hubo una precipitación pluvial menor en el ciclo del cultivo, el incremento en el rendimiento se atribuyó al efecto combinado de la aplicación de dolomita y de la lluvia (177.6 mm) en la etapa reproductiva; además, en ambos años, se observó una distribución mejor de la precipitación pluvial durante el desarrollo del cultivo, principalmente en las etapas de prefloración (R5) hasta llenado de vainas (R8) (Fernández *et al.*, 1985). En los dos años siguientes, aunque se presentó una precipitación pluvial alta durante el ciclo del cultivo de 400 mm, en 2002, y 348 mm, en 2004, en ambos años hubo una precipitación pluvial baja en las etapas de formación y llenado de vainas (18 mm), en 2002, y en prefloración y floración (5 mm), en 2004.

Sin aplicación de dolomita, sólo en 1999 el rendimiento promedio fue significativamente mayor que el resto de los años, debido a la cantidad mayor (557.8 mm) y la distribución mejor de la precipitación pluvial durante el ciclo del cultivo (Cuadro 3).

Efecto Residual de la Dolomita sobre el Rendimiento del Frijol

En el primer ciclo de evaluación (1999) se obtuvo un efecto reducido de la dolomita sobre la producción promedio de frijol (39.0 kg ha⁻¹). Lo anterior debido a que en los primeros 45 días después de la aplicación de dolomita, el suelo no contó con humedad suficiente para reaccionar con el material aplicado (Zetina-Lezama *et al.*, 2002). El efecto benéfico de la aplicación de la dolomita, como mejorador del suelo, fue mayor a partir del segundo ciclo de cultivo (2000), donde se observó

Cuadro 3. Rendimiento obtenido con ocho genotipos de frijol negro en cuatro años de evaluación con y sin aplicación de dolomita, en suelo ácido de Isla, Ver.

Año	Precipitación pluvial [‡] mm	Rendimiento	
		Con dolomita	Sin dolomita
1999	557.8	647 a	608 a
2000	353.0	737 a	346 b
2002	400.0	398 b	212 b
2004	348.0	279 b	263 b
Promedio	414.7	516	357
DMS 0.05 [†]		139	159

[†] Valores medios de rendimiento con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (DMS, $P \leq 0.05$). [‡] Registrada en el ciclo del cultivo.

un incremento del rendimiento de 391.8 kg ha⁻¹ y luego disminuyó en 2002 y 2004 (Cuadro 3). En la Figura 1 se presentan los valores de pH del suelo determinados en cada uno de los ciclos en que se estableció el experimento con dolomita; se observó que el porcentaje mayor para el incremento en el rendimiento se obtuvo con los valores más altos de pH registrados en los años de 2000 y 2002. Los resultados sugieren que en este tipo de suelo y clima es conveniente aplicar dolomita cada dos años, para mantener el efecto benéfico de este mejorador del suelo. Este comportamiento observado coincide con lo reportado por otros investigadores en estudios efectuados en suelos del tipo Cambisol dístico y Acrisol éutrico del sur de Veracruz (Zetina-Lezama *et al.*, 2002).

El rendimiento promedio general del tratamiento con aplicación de dolomita fue superior en 44% al obtenido sin dolomita. Lo anterior corrobora la susceptibilidad del frijol a la acidez del suelo y sus requerimientos altos de Ca y Mg, mismos que fueron parcialmente satisfechos con la aplicación de dolomita. Incrementos similares se reportaron en la producción de frijol en Veracruz (López-Salinas *et al.*, 2002) y Chiapas (Villar-Sánchez *et al.*, 2003) en suelos ácidos aplicados con dolomita.

Rendimiento entre Genotipos e Índices de Selección

Se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$) para el rendimiento de grano promedio entre genotipos en los tratamientos con y sin aplicación de dolomita.

En el Cuadro 4 se muestra que con la aplicación de dolomita, el rendimiento de grano varió de 340 a 653 kg ha⁻¹. Negro 8025, DOR-454, Negro Medellín y DOR-448 obtuvieron el rendimiento de grano mayor y fueron estadísticamente superiores al resto de los genotipos, incluidos el testigo Negro Jamapa e Icta Ligero que fueron los menos productivos. Sin aplicación de dolomita, el rendimiento fue significativamente menor, aunque la mayoría de los genotipos conservaron el mismo orden que se registró en el suelo encalado. DOR-454 obtuvo el rendimiento mayor, el cual fue estadísticamente semejante al de DOR-448, Negro 8025 y Negro Medellín, y superior al resto de los genotipos. Negro Jamapa superó en rendimiento únicamente a Icta Ligero que presentó la producción de grano más baja. Con aplicación de dolomita, los porcentajes mayores de incremento en el rendimiento se observaron en Icta Ligero, Negro 8025 y Negro Medellín, mientras que la menor respuesta a la incorporación de dolomita se obtuvo con Negro Jamapa.

En el mismo cuadro también se observa que DOR-454, Negro 8025 y DOR-448 obtuvieron los valores más altos de MG_i e IER_i, que indican rendimiento alto con y sin aplicación de dolomita. Estos índices estuvieron altamente asociados con el rendimiento de grano con y sin dolomita ($r = 0.997^{**}$ y 0.998^{**} , respectivamente), lo que indica su dependencia de la respuesta de los genotipos en suelos con y sin aplicación de dolomita (Villar-Sánchez *et al.*, 2003). Los genotipos con la MG_i más baja e IER_i menor a la unidad

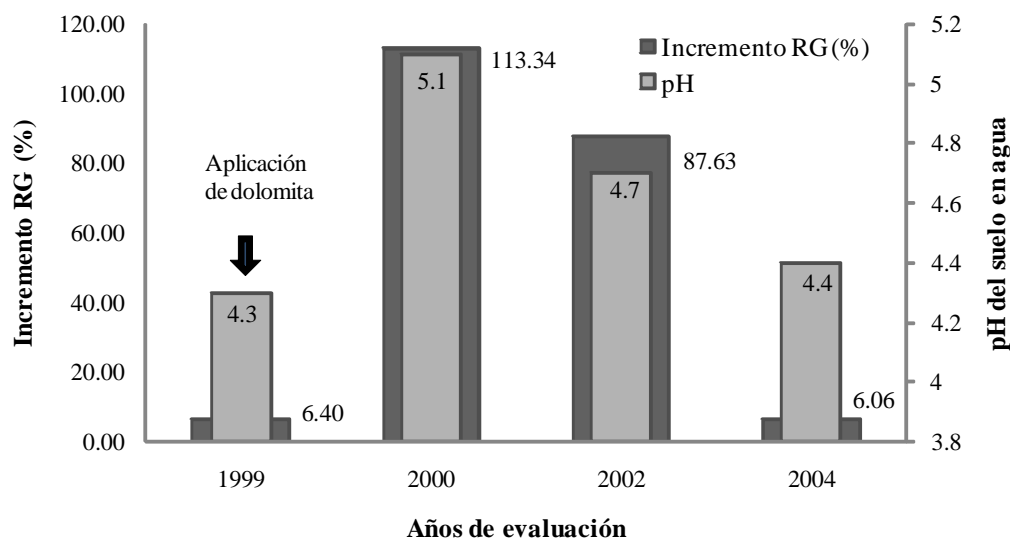


Figura 1. Efecto residual de la dolomita sobre el pH del suelo e incremento relativo del rendimiento promedio de ocho genotipos de frijol, con respecto al lote sin aplicación, en un suelo ácido de Isla, Ver. RG = rendimiento de grano.

Cuadro 4. Rendimiento promedio de ocho genotipos de frijol e índices de selección estimados en suelo sin y con aplicación de dolomita. Isla, Ver., México.

Genotipo	Rendimiento		Incremento [‡]	MGi [§]	IERi [¶]
	Con dolomita	Sin dolomita			
	- - - - - kg ha ⁻¹ - - - - -		%		
Negro 8025	653 a [†]	413 ab	58.5	518.7	1.5
DOR-454	637 a	470 a	35.5	547.2	1.6
Negro Medellín	604 a	394 abc	53.3	487.8	1.3
DOR-448	580 ab	451 ab	28.6	511.4	1.4
Negro Tropical	489 bc	361 bcd	35.4	420.2	1.0
UCR-55	457 cd	307 cd	48.8	374.6	0.8
Icta Ligero	364 de	177 e	105.6	253.8	0.3
Negro Jamapa	340 e	286 d	18.9	311.8	0.5
Promedio	515	357		428.8	1.0
DMS 0.05	101	96			

[†] Promedios de rendimiento con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (DMS, $P \leq 0.05$). [‡] Con base en el rendimiento obtenido de cada genotipo sin aplicación de dolomita. [§] Media geométrica. [¶] Índice de eficiencia relativa.

(Icta Ligero, Negro Jamapa y UCR-55) presentaron adaptación pobre en suelos ácidos.

Los resultados demuestran que el programa de frijol del INIFAP dispone de genotipos con adaptación mayor a suelos ácidos, con y sin aplicación de dolomita que el testigo regional Negro Jamapa, los cuales representan una alternativa tecnológica para incrementar la productividad en las áreas frijoleras de Isla, Ver.

CONCLUSIONES

- DOR-454, Negro 8025, DOR-448 y Negro Medellín mostraron buena adaptación a los suelos ácidos del sur de Veracruz, respondieron bien a la aplicación de dolomita y presentaron eficiencia mayor en el rendimiento que el testigo Negro Jamapa, con y sin aplicación de dolomita.

- Existe variabilidad genética en los genotipos de frijol por su adaptación en suelos ácidos y por su respuesta a la aplicación de dolomita, en Isla, Veracruz, México.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Gallegos, J. A., E. Acosta-Díaz y S. Alvarado-Mendoza. 1995. Identificación de genotipos de frijol con adaptación a suelos de baja fertilidad. pp. 26-34. *In*: R. Araya V. y D. Beck (eds.). Mejoramiento y manejo agronómico del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) para adaptación en suelos de bajo fósforo. Programa Cooperativo Regional de Frijol para México, Centroamérica y el Caribe (PROFRIJOL). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Universidad de Costa Rica (UCR). San José, Costa Rica.
- Aguilar-Noh, A. G. 1987. Capacidad de intercambio catiónico. pp. 93-107. *In*: A. Aguilar S., J. D. Etchevers B. y J. Z. Castellanos R. (eds.). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México.
- Aguilar-Santelises, A., G. Alcántar-González y J. D. Etchevers-Barra. 1994. Acidez del suelo y enclado en México. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México.
- Araya, R. y J. A. Acosta. 2000. Adaptación del frijol a suelos de baja fertilidad bajo presión de enfermedades foliares en Costa Rica. *Agron. Mesoam.* 11: 31-36.
- Barnhisel, R. and P. M. Bertsch. 1982. Aluminium. pp. 275-300. *In*: A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds.). Methods for soil analysis. Agronomy 9. Part 2. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.
- Bouyoucos, G. C. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agron. J.* 43: 434-438.
- Brady, C. N. and R. R. Weil. 1999. The nature and properties of soils. 12th ed. Simon & Schuster. Upper Saddle River, NJ, USA.
- Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. pp. 1149-1178. *In*: C. A. Black (ed.). Methods for soil analysis. Agronomy 9. Part 2. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.
- Cajuste, L. J. 1987. El fósforo aprovechable en los suelos. pp. 133-142. *In*: A. Aguilar S., J. D. Etchevers B. y J. Z. Castellanos R. (eds.). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México.
- Castañón-Nájera, G. y L. Latournerie-Moreno. 2004. Comportamiento de familias S₁ de maíz en distintos pH del suelo. *Bragantia* 63: 63-72.
- Castellanos-Ramos, J. Z., J. X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2ª ed. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Celaya, Gto., México.
- FAO-UNESCO. 1977. Soil map of the World. Vol. 4. Mexico and Central America. UNESCO. Paris, France.

- Fernández, F., P. Gepts y M. López. 1985. Etapas de desarrollo en la planta de frijol. pp. 61-78. *In*: M. López, F. Fernández y A. van Schoonhoven (eds.). Frijol: investigación y producción. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
- Fragoso, S., E. Martínez-Barajas, S. Vázquez-Santana, J. Acosta y P. Coello. 2005. Respuesta de la soya (*Glycine max*) a la deficiencia de fosfato. *Agrociencia* 39: 303-310.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Goijberg-Rein, G. y A. Aguilar-Santelises. 1987. pH del suelo y necesidades de cal. pp. 17-40. *In*: A. Aguilar S., J. D. Etchevers B. y J. Z. Castellanos R. (eds.). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México.
- Graham, R. D. 1984. Breeding for nutritional characteristics in cereals. *Adv. Plant Nutr.* 1: 57-102.
- López, E., J. Cumpián, A. Durán y J. A. Acosta. 1995. Tolerancia del frijol común a baja disponibilidad de fósforo en suelos de Veracruz, México. pp. 35-40. *In*: R. Araya V. y D. Beck (eds.). Mejoramiento y manejo agronómico del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) para adaptación en suelos de bajo fósforo. Programa Cooperativo Regional de Frijol para México, Centroamérica y el Caribe (PROFRIJOL)-Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)-Universidad de Costa Rica (UCR). San José, Costa Rica.
- López-Bucio, J., O. Martínez-de la Vega, A. Guevara-García y L. Herrera-Estrella. 2000. Enhanced phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate. *Nature Biotech.* 18: 450-453.
- López-Collado, C. J. 1998. Interpretación de resultados de los análisis químicos de suelos agrícolas. Colegio de Postgraduados. Instituto de Fitosanidad. Campus Veracruz. Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.
- López-Salinas, E., A. Durán-Prado, E. N. Becerra-Leor, V. A. Esqueda-Esquivel y O. Cano-Reyes. 1994. Manual de producción de frijol en el estado de Veracruz. Folleto para Productores 7. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional del Golfo Centro-Campo Experimental Cotaxtla. Cotaxtla, Veracruz, México.
- López-Salinas, E., J. A. Acosta-Gallegos, J. Cumpián-Gutiérrez, O. Cano-Reyes, B. Villar-Sánchez y E. N. Becerra-Leor. 2002. Adaptación de genotipos de frijol común en la región tropical húmeda de México. *Agric. Téc. Méx.* 28: 35-42.
- López-Salinas, E., O. H. Tosquy-Valle, B. Villar-Sánchez, E. N. Becerra-Leor, F. J. Ugalde-Acosta y J. Cumpián-Gutiérrez. 2006. Adaptabilidad de genotipos de frijol resistentes a enfermedades y a suelos ácidos. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 33-39.
- SAS Institute. 1999. SAS/STAT programa. Versión 8. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Singh, S. P., J. C. Takegami, and C. G. Muñoz. 1995. Screening common bean for sources of tolerance of low soil fertility. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 43: 54-55.
- Villar-Sánchez, B., E. López-Salinas y J. A. Acosta-Gallegos. 2003. Selección de genotipos de frijol por rendimiento y resistencia al mosaico dorado y suelos ácidos. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 109-114.
- Walkley, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils, effect of variation in digestion condition and of organic soil constituents. *Soil Sci.* 63: 251-263.
- Zetina-Lezama, R., L. J. Cajuste, J. Alvarado-López, A. Trinidad-Santos y L. L. Landois-Palencia. 1995. Encalado y disponibilidad de fósforo y potasio en suelos ácidos. *Terra* 13: 338-346.
- Zetina-Lezama, R., L. Pastrana-Aponte, J. Romero-Mora y J. A. Jiménez-Chong. 2002. Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México. Libro técnico 10. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional del Golfo Centro-Campos Experimentales Papaloapan y Huimanguillo. Veracruz, México.
- Zetina-Lezama, R., A. Trinidad-Santos, J. L. Oropeza-Mota, V. Volke-Haller y L. L. Landois-Palencia. 2005. Relación bases intercambiables-rendimiento de maíz en un Cambisol dístico con labranza, encalado y abono verde. *Terra Latinoamericana* 23: 389-397.