

ESTABILIDAD DE RENDIMIENTO EN GENOTIPOS MESOAMERICANOS DE FRIJOL DE GRANO NEGRO EN MÉXICO*

YIELD STABILITY OF IMPROVED MESOAMERICAN GENOTYPES OF BLACK COMMON BEAN IN MEXICO

Ernesto López Salinas^{1§}, Jorge Alberto Acosta Gallegos², Oscar Hugo Tosquy Valle¹, Rafael Atanasio Salinas Pérez³, Bertha María Sánchez García², Rigoberto Rosales Serna⁴, Carlos González Rivas⁵, Tomás Moreno Gallegos⁶, Bernardo Villar Sánchez⁷, Héctor Manuel Cortinas Escobar⁸ y Román Zandate Hernández⁹

¹Campo Experimental Cotaxtla. INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba, km 34. Medellín de Bravo, Veracruz, México. A. P. 429. C. P. 91700. ²Campo Experimental Bajío. INIFAP. ³Campo Experimental Valle del Fuerte. INIFAP. ⁴Campo Experimental Valle de Guadiana. INIFAP. ⁵Campo Experimental Santiago Ixcuintla. INIFAP. ⁶Campo Experimental Sur de Sinaloa. ⁷Campo Experimental Centro de Chiapas. INIFAP. ⁸Campo Experimental Río Bravo. INIFAP. ⁹Campo Experimental Calera. INIFAP. [§]Autor para correspondencia: lopez.ernesto@inifap.gob.mx.

RESUMEN

En México se consumen más de 400 000 t de frijol de grano negro y la producción nacional es insuficiente por lo que se recurre a la importación. Con la siembra de variedades de mayor rendimiento potencial que las de uso actual y amplia adaptación, es factible obtener una mayor producción y disminuir o evitar las importaciones. El objetivo fue determinar el rendimiento y adaptabilidad de líneas y variedades de frijol negro, raza mesoamericana, en diferentes ambientes de México (uno en Chiapas, tres en Veracruz, uno en Puebla, uno en el Estado de México, dos en Guanajuato, uno en Tamaulipas, dos en Durango, uno en Zacatecas, uno en Nayarit y dos en Sinaloa) en 2008. El experimento se estableció en diseño látice 4*4 con cuatro repeticiones, en parcelas de cuatro surcos de 5 m de longitud, separados 0.76 m. Durante la conducción de los ensayos se determinaron diversas características agronómicas, entre ellas el rendimiento. Con los datos de rendimiento se realizó análisis combinado (ambientes-genotipos) y se estimaron los parámetros de estabilidad, con el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa. Se detectaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre ambientes, genotipos y la interacción de ambos factores. Los ambientes explicaron

ABSTRACT

In Mexico, over 400 000 t of black beans are consumed every year, and the country's production is insufficient, which is why it is also imported. By planting varieties with a higher potential yield than those used nowadays, greater amounts can be produced, and imports reduced or even avoided. The aim was to establish the yield and adaptability of lines and varieties of Mesoamerican breed of black beans, in different environments in Mexico (one in Chiapas, three in Veracruz, one in Puebla, one in the State of Mexico, two in Guanajuato, one in Tamaulipas, two in Durango, one in Zacatecas, one in Nayarit and two in Sinaloa) in 2008. The experiment was set up in a 4*4 lattice design with four repetitions, in fields of four five-meter long furrows, separated by 0.76 m. During the trials, diverse agricultural characteristics were determined, including yield. With the yield data, a combined analysis was performed (environments-genotypes) and the stability parameters were estimated using the main additive effect and multiplicative interaction model. Highly significant differences were found ($p < 0.01$) between environments, genotypes and the interaction of both factors. The environments explained variance (59%)

* Recibido: mayo de 2010
Aceptado: febrero de 2011

en mayor proporción la varianza (59%), en comparación con la interacción ambiente*genotipo (23%) y genotipo (7%). Los mayores rendimientos se obtuvieron en Mazatlán, Sinaloa y Durango, Durango, mientras que el más bajo se obtuvo en Guasave, Sinaloa. La variedad Negro Papaloapan obtuvo el mayor rendimiento promedio de 1.4 t ha⁻¹ y mostró reducida interacción con los ambientes de prueba.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., adaptabilidad, genotipos, selección.

INTRODUCCIÓN

En México anualmente se consumen más de 400 000 toneladas de grano de frijol negro, por lo que gran parte de la superficie nacional cultivada con frijol, se establece con esta clase comercial de grano y es el principal tipo de frijol importado (Sánchez *et al.*, 2001; SIAP, 2006). En el Distrito Federal y el sureste de México, el frijol negro es de mayor preferencia por el consumidor (Castellanos *et al.*, 1997; Sánchez *et al.*, 2001; González *et al.*, 2008). Para aprovechar las oportunidades de mercado, en varios estados del norte de México (Guanajuato, Zacatecas y Durango) se produce frijol de grano negro, principalmente brillante, de tamaño intermedio, mientras que Nayarit, Oaxaca, Veracruz y Chiapas producen variedades de grano opaco, pequeño, tipo tropical (SAGARPA, 2008).

Considerando la importancia que tiene la producción de frijol de este tipo de grano en el país, el programa de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ha generado variedades para las diferentes condiciones ambientales (temporal, humedad residual y riego) entre las que destacan: Negro Altiplano y Negro Sahuatoba para la zona norte-centro del país, Negro 8025 para la zona centro, Negro Jamapa para el pacífico centro y Negro Tacaná, Negro INIFAP, Negro Medellín y Negro Tropical para el sureste de México, las cuales poseen características agronómicas sobresalientes, alto rendimiento y calidad comercial de grano (Rosales *et al.*, 2004).

La generación de variedades con alto rendimiento y tolerancia a los principales factores bióticos y abióticos es uno de los objetivos primordiales del programa de mejoramiento genético del frijol en el INIFAP (Acosta *et al.*, 2004). La evaluación de líneas y variedades en diferentes ambientes de producción ha permitido identificar genotipos

further, in comparison to the environment*genotype (23%) interaction and genotype (7%). The highest yields were obtained in Mazatlán, Sinaloa and Durango, Durango, whereas the lowest was found in Guasave, Sinaloa. The Negro Papaloapan variety displayed the highest average yield of 1.4 t ha⁻¹ and presented a reduced interaction with the test environments.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., adaptability, genotypes, selection.

INTRODUCTION

In Mexico, over 400 000 t of black beans are consumed every year, which is why a large portion of the country's bean plantations establish this commercial type of grain, and it is also the most commonly imported bean (Sánchez *et al.*, 2001; SIAP, 2006). In Mexico City and southeastern Mexico, the black bean is the most widely preferred by consumers (Castellanos *et al.*, 1997; Sánchez *et al.*, 2001; González *et al.*, 2008). To take advantage of market opportunities, several states in northern Mexico (Guanajuato, Zacatecas and Durango) produce black beans, mostly glossy, medium-sized, whilst Nayarit, Oaxaca, Veracruz and Chiapas produce varieties with opaque, small grains, of a tropical sort (SAGARPA, 2008).

Considering the importance that the production of this type of grain has in Mexico, the bean program of the National Forestry, Agriculture and Livestock Research Institute (INIFAP), has created varieties for different weather conditions (temporal, residual humidity and irrigation), of which the most important are: Negro Altiplano and Negro Sahuatoba for the center-north area of the country, Negro 8025 for the center, Negro Jamapa for the central Pacific area and Negro Tacaná, Negro INIFAP, Negro Medellín and Negro Tropical for the southeast, with outstanding agricultural characteristics, high yield and commercial grain quality (Rosales *et al.*, 2004).

The generation of varieties with high yield and tolerance to biotic and abiotic factors is one of the main objectives of the bean genetic breeding program at INIFAP (Acosta *et al.*, 2004). The evaluation of lines and varieties in different production environments has helped identify

con estas características, los cuales ofrecen ventajas agronómicas y productivas con respecto a las variedades en uso. Por su parte, los estudios de adaptabilidad y estabilidad del rendimiento son importantes para determinar la respuesta de las variedades en diferentes localidades, años y ciclos de cultivo. Existen diferentes métodos que pueden usarse en la selección de genotipos por su estabilidad, entre los más comunes están: el análisis de regresión lineal (Yates y Cochran, 1938; Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966), componentes de varianza (Plaisted y Peterson, 1959; Plaisted, 1960) y la descomposición de la interacción genotipo-ambiente (IGA) total en una componente para cada genotipo (Wricke, 1962; Shukla, 1972). El análisis de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), es un modelo multivariado que combina en un solo análisis al de varianza y al de componentes principales (Vargas y Crossa, 2000); este método requiere de pocas repeticiones, su efectividad se incrementa con el tamaño del ensayo y pueden evaluarse un gran número de genotipos sin perder precisión, ni incrementarse el costo de los experimentos (Crossa *et al.*, 1990; Gauch y Furnas, 1991).

En 2008 se conformó y distribuyó un ensayo uniforme con genotipos de frijol negro, opaco y pequeño, el cual se estableció en 15 localidades de prueba en diferentes estados del país, con la finalidad de identificar los de mayor rendimiento de grano y determinar su adaptabilidad en diferentes ambientes de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidades de prueba

El ensayo se estableció en 15 localidades del país; en el ciclo de primavera-verano 2008, bajo condiciones de temporal en Texcoco, Estado de México; Ocozocuahtla, Chiapas; Orizaba, Veracruz; Tochtepec, Puebla; Ocampo y Celaya, Guanajuato; Río Bravo, Tamaulipas; Durango y Francisco I Madero, Durango; y Calera, Zacatecas, en el ciclo otoño-invierno 2008-2009. En condiciones de humedad residual en San Andrés Tuxtla y Medellín de Bravo, Veracruz; Santiago Ixcuintla, Nayarit; con riego en Mazatlán y Guasave, Sinaloa. Bajo condiciones de temporal se establecieron en julio, de humedad residual entre septiembre y noviembre, y de riego en octubre. La fecha de siembra en las diferentes localidades se basó en las recomendaciones para el cultivo del frijol en cada región.

genotypes with these characteristics, which offer agricultural advantages over the varieties in use. On the other hand, studies on yield adaptability and stability are important for determining the response of the varieties in different locations, years and farming cycles. Different methods can be used for selecting genotypes for their stability, the most common of which are the linear regression analysis (Yates and Cochran, 1938; Finlay and Wilkinson, 1963; Eberhart and Russell, 1966), variance components (Plaisted and Peterson, 1959; Plaisted, 1960) and the total decomposition of the genotype-environment interaction (IGA) in a component for each genotype (Wricke, 1962; Shukla, 1972). The Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Models (AMMI), is a multivariate model that combines variance and main components analyses into one (Vargas and Crossa, 2000). This method requires few repetitions, its effectiveness increases with the size of the trial and a large number of genotypes can be evaluated without losing accuracy or increasing the cost of the experiments (Crossa *et al.*, 1990; Gauch and Furnas, 1991).

In 2008 a standard trial was conformed to black, small and opaque bean genotypes, which was carried out in 15 trial locations in different states in Mexico, in order to identify those with the highest grain yield and determine their adaptability in different production environments.

MATERIALS AND METHODS

Trial locations

The trial was carried out in 15 locations throughout Mexico, in the spring-summer cycle of 2008, under rainy conditions in Texcoco, State of Mexico; Ocozocuahtla, Chiapas; Orizaba, Veracruz; Tochtepec, Puebla; Ocampo and Celaya, Guanajuato; Río Bravo, Tamaulipas; Durango and Francisco I Madero, Durango; and Calera, Zacatecas, in the autumn-winter cycle 2008-2009. Under conditions of residual humidity in San Andrés Tuxtla and Medellín de Bravo, Veracruz; Santiago Ixcuintla, Nayarit; with irrigation in Mazatlán and Guasave, Sinaloa. Those under rainy conditions were established in July, the ones under residual humidity from September to November, and those under irrigation, in October. The date of plantation in different locations was based on recommendations for the plantation of beans in each area.

Germoplasma estudiado

El ensayo se conformó de 16 genotipos de frijol negro y opaco generados por el programa de frijol del INIFAP; las variedades Negro INIFAP, Negro Tacaná, Negro Tropical, Negro Medellín y Negro Papaloapan, así como la línea Jamapa Plus del Campo Experimental Cotaxtla en Veracruz; las variedades Negro Guanajuato, Negro Citlali, Negro 8025 y Negro San Miguel, así como la línea NG 99279 del Campo Experimental Bajío en Guanajuato. Las líneas Jamapa Cora 1, 2 y 3 del Campo Experimental Santiago Ixcuintla en Nayarit y las variedades Negro Pacífico del Campo Experimental Valle del Fuerte en Sinaloa y Frijozac N101 del Campo Experimental Calera en Zacatecas. Todo los materiales pertenecen a la raza mesoamericana (Singh *et al.*, 1991) y son de hábito indeterminado de los tipos II y III (Singh, 1982).

Diseño y conducción del ensayo

El experimento se estableció en diseño experimental de látice 4*4 con cuatro repeticiones, en parcelas de cuatro surcos de 5 m de longitud, separados 0.76 m; la parcela útil correspondió a los dos surcos centrales. El manejo agronómico del cultivo se hizo de acuerdo a las recomendaciones que hace el INIFAP para frijol, a través de sus campos experimentales. Durante la conducción de los ensayos se determinaron diversas características agronómicas, aquí solo se presenta información de rendimiento y se discute sobre la incidencia de una enfermedad, el virus del mosaico común. La cosecha de los ensayos se realizó cuando las vainas de las plantas estaban completamente secas y el grano tenía entre 14 y 16% de humedad. El grano cosechado de cada parcela se limpió, se pesó, se le determinó su humedad y se transformó a kilogramos por hectárea al 14% de humedad.

Análisis de datos

Se realizó análisis combinado (ambientes-genotipos) del rendimiento de grano y para la separación de promedios en cada factor de estudio se aplicó la prueba de rango múltiple de Duncan, $p=0.05$. También se estimaron los parámetros de estabilidad mediante el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), el cual se utilizó para clasificar los ambientes e identificar líneas sobresalientes por su rendimiento de grano y por su menor interacción con el ambiente (Gauch y Zobel, 1996). Para el análisis de varianza y los parámetros de estabilidad se utilizó

Germplasm studied

The trial was made up of 16 black and opaque bean genotypes created by INIFAP's bean program: varieties Negro INIFAP, Negro Tacaná, Negro Tropical, Negro Medellín and Negro Papaloapan, as well as the line Jamapa Plus of the Cotaxtla Experimental Station in Veracruz; varieties Negro Guanajuato, Negro Citlali, Negro 8025 and Negro San Miguel, as well as line NG 99279 of the Bajío Experimental Station in Guanajuato; lines Jamapa Cora 1, 2 and 3 of the Santiago Ixcuintla Experimental Station in Nayarit and the varieties Negro Pacífico of the Valle del Fuerte Experimental Station in Sinaloa and Frijozac N101 of the Calera Experimental Station in Zacatecas. All materials belong to the Mesoamerican breed (Singh *et al.*, 1991) and are of an undetermined habit of types II and III (Singh, 1982).

Design and performance of the trial

The experiment was carried out in a 4*4 lattice experimental design with four repetitions, on a field with four five-meter long furrows, with a 0.76 m separation; the useful plot corresponded to the two central furrows. The agricultural management of the crop was done according to recommendations by INIFAP for beans, through their experimental designs. During the trials, several agricultural characteristics were determined. Here we only present yield information and discuss the incidence of a disease, the common mosaic virus. The trials were planted when the pods of the plants were completely dry and the grain contained 14 to 16% humidity. The grains harvested from each field were cleaned, weighed; their humidity was established and converted to kilograms per hectare at 14% humidity.

Data analysis

A combined analysis was carried out (environments-genotypes) for the grain yield and for the separation of averages in each factor studied, Duncan's new multiple range test, $p=0.05$, was carried out. The parameters of stability were also calculated, using the additive main effects and multiplicative interaction models (AMMI), which was used to classify the environments and identify lines outstanding for their grain yield and lower interaction with the environment (Gauch and Zobel, 1996). For the variance analysis and the stability

el programa de computo SAS (SAS, 1999) y en el desarrollo del análisis AMMI se siguieron las recomendaciones de Vargas y Crossa (2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis combinado

Con la información de rendimiento, se detectaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$), entre ambientes, genotipos y en la interacción de ambos factores, lo que indica que las localidades de prueba y los genotipos evaluados difieren en su potencial de producción, y algunos mostraron respuesta diferente a través de los ambientes de evaluación. Los ambientes de evaluación explicaron en su mayor parte la varianza observada, los cuales fueron contrastantes y explicaron 59%, seguido de la interacción genotipos*ambiente con 34%.

Los genotipos explicaron 7% de la varianza observada. Esto se debe en gran parte, que los ambientes de prueba presentan diferentes características de suelo y clima, que confieren diferente potencial productivo sin importar el genotipo, ya que el efecto se determina con el rendimiento promedio de los genotipos. Por otro lado, los genotipos pertenecen a la raza mesoamericana (Singh *et al.*, 1991), los cuales presentan fenotipo similar y algunas amplias adaptaciones, ésta en parte debida a su neutralidad al fotoperiodo (White y Laing, 1989); sin embargo, su resistencia a estreses abióticos y bióticos son diferentes porque fueron seleccionados en distintas regiones.

En las localidades de Mazatlán, Sinaloa, y Durango, Durango, se obtuvieron los mayores rendimientos promedio, debido principalmente que en la primera localidad, el frijol se cultivó en condiciones de riego y en la segunda se condujo bajo temporal, pero hubo condiciones adecuadas de humedad en cuanto a cantidad y distribución de las lluvias (564 mm), durante el desarrollo del cultivo. Por su parte, el rendimiento promedio más bajo se obtuvo en Guasave, Sinaloa (Cuadro 1), debido principalmente a la presencia de cepas necróticas del virus del mosaico común (BCMNV) ($r = -0.57$), que causan la enfermedad conocida comúnmente como raíz negra, que provocó alta mortandad de plantas en la mayoría de los genotipos (Morales, 1979). La excepción fueron las líneas Jamapa Cora, que mostraron 100% de virus de mosaico común, pero no raíz negra; reacción similar a la observada en Celaya.

parameters, the SAS computer program (SAS, 1999) was used, and during the AMMI analysis, recommendations by Vargas and Crossa (2000) were followed.

RESULTS AND DISCUSSION

Combined analysis

With the information on yield, highly significant differences ($p < 0.01$) were found between environments, genotypes and in the interaction of both, indicating that the trial locations and the evaluated genotypes differ in their production potential, and some showed different responses throughout evaluation environments. The evaluation environments explained largely the observed variances, which were contrasting and explained 59%, followed by the genotypes*environment interaction, with 34%.

Genotypes explained 7% of the observed variance. This is mostly due to the trial environments having different soil and weather characteristics, which confer different, yield potentials, since the effect is determined by the average yield of the genotypes. On the other hands, the genotypes belong to the Mesoamerican breed (Singh *et al.*, 1991), which displays a similar phenotype and some wide adaptations, and due partly to its neutrality in the photoperiod (White and Laing, 1989). However, their resistances to abiotic and biotic stresses are different, because they were selected in different areas.

Mazatlán, Sinaloa, and Durango, Durango, produced the highest yield averages, due mostly to the fact that in the former, beans were planted under conditions of irrigation and in the latter, under rainy conditions, although there were adequate conditions of humidity in terms of amounts and distribution of rains (564 mm) during the growth of the crop. On the other hand, the lowest yield average was produced in Guasave, Sinaloa (Table 1), due mostly to the presence of necrotic strains of the common mosaic virus (BCMNV) ($r = -0.57$), which cause the disease commonly known as black root, that caused a high mortality rate in most genotypes (Morales, 1979). The exception was the Jamapa Cora lines, 100% of which displayed the common mosaic virus, but no black root; a similar reaction was observed in Celaya.

Cuadro 1. Rendimiento de grano (t ha⁻¹) promedio de líneas de frijol negro evaluadas en 14 ambientes de México. 2008-2009.
Table 1. Average grain yield (t ha⁻¹) in black bean lines evaluated in 14 environments in Mexico. 2008-2009.

Genotipo	Localidades de prueba														\bar{X}
	1 b	2 ef	3 cde	4 cd	5 bc	6 ef	7 cde	8 de	9 f	10 a	11 a	12 cd	13 ef	14 ef	
Papaloapan	1.9	0.7	2.4	2.1	1.1	1.1	1.5	1.3	0.4	2	2.3	1	0.8	0.5	1.4 a
Negro Tropical	1.3	0.4	0.8	1	1.2	0.7	0.6	0.9	0.4	1.6	2.4	0.9	0.6	0.9	1 bc
Negro Medellín	1	0.8	1.2	0.7	1.1	0.6	1.5	0.6	0.6	1.7	1.5	1	0.6	0.5	1 bc
Negro Tacaná	1.5	0.6	1	0.5	1.1	0.5	0.6	0.9	0.3	1.9	1.5	1.2	0.9	0.7	0.9 bc
Negro INIFAP	1.4	0.7	0.9	0.7	1	0.5	0.6	0.6	0.4	1.8	0.5	0.9	0.5	0.1	0.8 c
NG 99279	1.3	0.6	0.8	0.9	0.6	0.6	0.2	0.8	0.5	1.4	1.7	1.3	0.7	0.6	0.9 bc
Jamapa Plus	1	0.5	1.2	0.9	1.1	0.6	0.6	1	0.6	2.1	1.6	1	0.5	1.1	1 bc
Jamapa L1	1.3	0.8	0.4	1.2	1	0.7	1.7	0.6	0.6	1.8	1.6	0.5	0.8	0.5	1 bc
Jamapa L2	1.1	0.8	0.3	1.1	0.8	0.8	1.8	0.8	0.6	2	1.6	1	0.5	0.6	1 bc
Jamapa L3	1.1	0.9	0.5	1.3	0.8	1.1	1.7	0.8	0.6	2	1.6	1.2	0.6	0.5	1.1 b
Negro Pacífico	1.5	0.5	0.9	1	1.5	0.4	0.6	0.8	0.5	2	2.3	0.9	0.5	1	1 bc
Guanajuato	1.3	0.7	0.9	0.9	1.4	0.5	0.5	0.9	0.3	1.7	1.7	0.9	0.7	0.7	0.9 bc
Negro Citlali	0.9	0.7	0.3	0.6	1.1	0.7	0.5	0.6	0.5	1.9	1.1	1.1	0.6	0.9	0.8 c
Negro 8025	0.8	0.6	0.8	1	1.1	0.8	0.3	1	0.5	2.2	1.7	0.9	0.8	0.5	0.9 bc
Frijozac	1.2	0.6	0.5	0.8	1.2	0.7	1	1.1	1.3	1.7	2.7	1.1	0.7	1.1	1.1 b
San Miguel	1.4	0.8	1.2	0.6	1.8	0.8	1	0.8	0.5	2.5	0.9	0.9	0.7	0.5	1 bc
\bar{X}	1.3	0.7	0.9	1	1.1	0.7	0.9	0.8	0.5	1.9	1.7	1	0.7	0.7	1

1=San Andrés Tuxtla, Veracruz; 2=Medellín, Veracruz; 3=Orizaba, Veracruz; 4=Puebla; 5=Ocampo, Guanajuato; 6=Celaya, Guanajuato; 7=Santiago Ixcuintla, Nayarit; 8=Zacatecas; 9=Guasave, Sinaloa; 10=Mazatlán, Sinaloa; 11=Durango; 12=Río Bravo, Tamaulipas; 13=Ocozocuaula, Chiapas; 14=Madero, Durango. Localidades y genotipos con las mismas letras en la hilera y columna, respectivamente, son estadísticamente similares de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Duncan, $p=0.05$.

El ensayo establecido en Texcoco, Estado de México, fue severamente dañado por esta enfermedad, cuyos efectos fueron acentuados por temperaturas altas observadas durante el ciclo del cultivo. Estos resultados indican que los genotipos incluidos en el ensayo y cuyas poblaciones fueron disminuidas por raíz negra, portan el gene I de resistencia hipersensitiva (Morales, 1979).

El gene I se encuentra presente en el germoplasma de la raza mesoamericana, que fue ampliamente utilizado en el programa de mejoramiento del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), de donde se introdujo germoplasma mejorado a México. En

The trial in Texcoco, State of Mexico, was severely damaged by this disease, with stronger effects due to high temperatures during the plantation cycle (data not shown), which is why it was eliminated and planted in the soil. These results indicate that the genotypes included in the trial, and the populations of which were reduced by black root, carry gene I of hypersensitive resistance (Morales, 1979).

Gene I exists in the germplasm of the Mesoamerican breed, and was widely used in the breeding program of the Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), where improved germplasm was introduced to Mexico. Consequently, most varieties of opaque black beans

consecuencia, la mayoría de las variedades de grano negro opaco liberadas en la última década (López *et al.*, 2007a) y algunas del tipo Flor de Mayo poseen ese gene (Acosta *et al.*, 1995; Castellanos *et al.*, 2003). Sin embargo, en presencia de cepas del BCMNV, insensibles a temperatura, la presencia del gene I causa la reacción hipersensitiva que resulta en necrosis vascular y consecuente muerte de las plantas infectadas. La muerte de plantas que poseen el gene I puede prevenirse en los nuevos cultivares, con la incorporación de una serie de genes recesivos que confieren resistencia a las cepas insensibles a temperatura del BCMNV, principalmente el gen bc3 (Kelly, 1997; Mukeshimana *et al.*, 2005).

El rendimiento de grano también varió entre genotipos; la variedad Negro Papaloapan fue la más productiva a través de localidades, cuyo rendimiento fue significativamente superior al del resto de los materiales. Otros genotipos que sobresalieron por su alta productividad fueron la variedad Frijozac y la línea Jamapa Cora 3, aunque su rendimiento fue estadísticamente similar al de otros 11 genotipos (Cuadro 1). Esta respuesta se debió en gran parte, a la tolerancia de enfermedades en los genotipos anteriores. En algunas localidades, líneas introducidas desarrolladas en un ambiente diferente, mostraron una baja productividad, principalmente por pobre adaptación, tal fue el caso de las tres líneas Jamapa Cora, Negro Citlali y Frijozac en Orizaba, Veracruz.

Análisis AMMI

De acuerdo al análisis AMMI, los seis primeros componentes principales (CP) fueron significativos y acumularon 93.3% en la explicación de la varianza; de estos seis componentes, los tres primeros fueron los más importantes en la representación de la interacción genotipo*ambiente (IGA), ya que explicaron 76.9% de la suma de cuadrados (Cuadro 2). Como era de esperarse, los ambientes mostraron mayor dispersión que los genotipos, lo cual indica que la variabilidad ambiental fue mayor que las diferencias genéticas del germoplasma de frijol incluido en el estudio.

San Andrés Tuxtla, Veracruz, fue el ambiente que mostró menor interacción con los genotipos ($CP1=0.02385$) y alto potencial de rendimiento con un promedio de 1.3 t ha^{-1} (Figura 1 y Cuadro 3). Lo anterior obedeció principalmente a que no hubo condiciones de estrés para el cultivo, ya que además de la humedad residual contó con (310 mm

released in the last decade (López *et al.*, 2007a) and some of the type Flor de Mayo carry this gene (Acosta *et al.*, 1995; Castellanos *et al.*, 2003). However, in the presence of the strain of BCMNV, insensitive to temperature, the presence of gene I cause the hypersensitive reaction that results in vascular necrosis, and consequently, the death of the infected plants. This can be prevented in new cultivars, incorporating a series of recessive genes that give resistance to the BCMNV strains insensitive to temperature, mostly gene bc3 (Kelly, 1997; Mukeshimana *et al.*, 2005).

Grain yield also varied between genotypes. The variety Negro Papaloapan was the most productive throughout locations, with a yield significantly higher than the rest of the materials. Other genotypes with high yields were variety Frijozac and the line Jamapa Cora 3; although its yield was statistically higher than those of other 11 genotypes (Table 1). This response was due largely to the tolerance to diseases in previous genotypes. In some locations, lines introduced developed in a different environment showed low productivity, due mainly to poor adaptation, such as in the case of the lines Jamapa Cora, Negro Citlali and Frijozac in Orizaba, Veracruz.

AMMI analysis

According to the AMMI analysis, the first six main components (CP) were significant and accumulated 93.3% in the variance explanation. Out of the six components, the first three were the most important in the representation of the genotype*environment interaction (IGA), since they explained 76.9% of the sum of squares (Table 2). As expected, the environments showed a greater dispersal than the genotypes, indicating that the environmental variability was greater than the genetic differences of the bean germplasm included in the study.

San Andrés Tuxtla, Veracruz, was the environment that showed the least interaction with the genotypes ($CP1=0.02385$) and highest yield potential, with an average of 1.3 t ha^{-1} (Figure 1 and Table 3). This was mainly due to the lack of stress conditions for the crop, since there was residual humidity and (310 mm of rain) and the temperature during its growth was optimum (22 to 24°C). In Ocozocuatla, Chiapas, there was also a reduced interaction with the genotypes ($CP1=0.00815$), but a yield lower than the average (Table 3). In both locations, the plantation was with residual humidity, and the climates in both locations are relatively similar.

de precipitación pluvial) y la temperatura durante su desarrollo fue óptima (22 a 24 °C). En Ocozocuatla, Chiapas también se registró reducida interacción con los genotipos (CP1=0.00815), pero un rendimiento promedio inferior a la media (Cuadro 3); en ambas localidades la siembra fue de humedad residual y son de clima relativamente similar.

On the other hand, in Durango, Durango, a high variation was observed in the grain yield of the genotypes (CP1= -0.89726) (Figure 1 and Table 3), which is mainly caused by differences in adapting to that evaluation environment and by a strong pressure by the fungus that causes angular leaf spot (*Phoisariopsis griseola*), since the crop had good humidity conditions during its growth (564 mm

Cuadro 2. Resultados de la suma de cuadrados en términos AMMI.
Table 2. Results of the sum of squares in AMMI terms.

Fuente	GLAMMI	SCAMMI	CMAMMI	Explicación de la varianza (%)	
				Individual	Acumulada
CP1	27	20.5	0.76*	27.7	27.7
CP2	25	19.4	0.78*	26.3	53.9
CP3	23	17	0.74*	23	76.9
CP4	21	5.9	0.28*	8	84.9
CP5	19	3.4	0.18*	4.6	89.5
CP6	17	2.8	0.16*	3.8	93.3
CP7	9	0.6	0.07	0.9	99.3
CP8	7	0.3	0.04	0.4	99.7
CP9	5	0.2	0.04	0.3	99.9
CP10	3	0	0	0	100
CP11	1	0	0	0	100
Error	669	41.6	0.06		
CV (%) = 25.3		R ² = 0.84			

*= altamente significativo ($p < 0.01$); AMMI= efectos principales aditivos e interacción multiplicativa; GLAMMI= grados de libertad; SCAMMI= suma de cuadrados; CMAMMI= cuadrados medios; CP= componente principal.

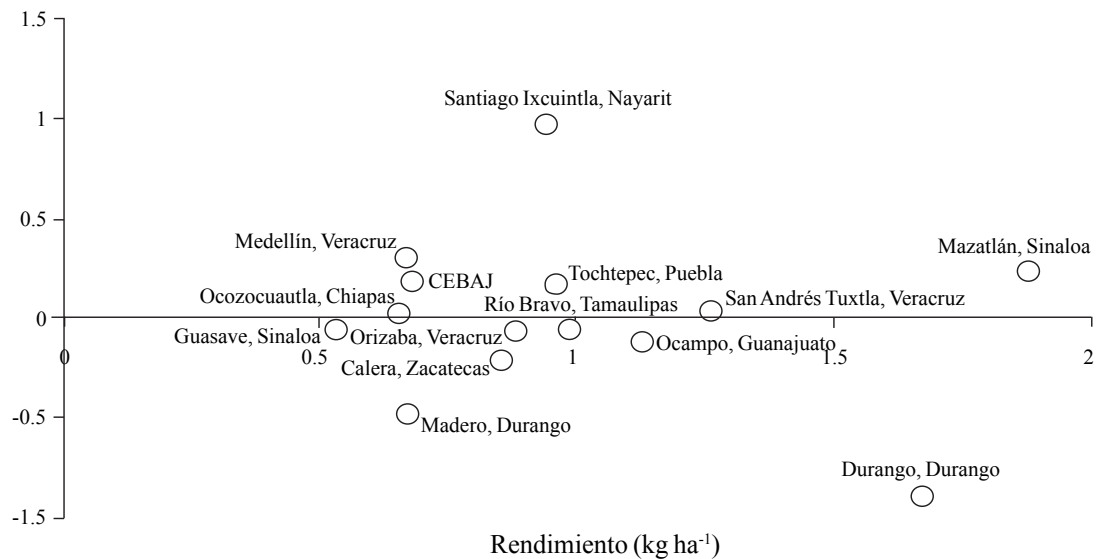


Figura 1. Efectos principales e interacción de los ambientes con respecto al rendimiento promedio de genotipos de frijol negro.
Figure 1. Main effects and interaction of the environments with, the average yields of black bean genotypes.

Cuadro 3. Rendimiento promedio de genotipos, ambientes y valores de componentes principales (CP) significativo.
Table 3. Average yield of genotypes, environments and significant main component (CP) values.

Tipo	Nombre	Rendimiento (t ha ⁻¹)	CP1	CP2	CP3
LIN	Negro Papaloapan	1.4	0.08125	0.28452	1.21382
LIN	Jamapa Cora 3	1.1	0.51217	0.43088	-0.15771
LIN	Negro Pacífico	1	-0.47968	0.02542	0.02478
LIN	Negro Guanajuato	0.9	-0.21243	-0.20239	0.07699
LIN	Negro Citlali	0.8	0.00238	-0.31986	-0.49931
LIN	Negro 8025	0.9	-0.22684	-0.16233	-0.0371
LIN	Frijozac	1.1	-0.53471	0.54463	-0.44087
LIN	Negro San Miguel	1	0.36751	-0.67139	-0.03367
LIN	Negro Tropical	1	-0.51699	0.23902	0.09066
LIN	Negro Medellín	1	0.30354	0.08019	0.06116
LIN	Negro Tacaná	0.9	-0.14361	-0.37374	0.01045
LIN	Negro INIFAP	0.8	0.44817	-0.57641	0.05113
LIN	NG 99279	0.9	-0.34316	-0.05546	0.00217
LIN	Jamapa Plus	1	-0.24454	-0.1866	0.04247
LIN	Jamapa Cora 1	1	0.47836	0.44091	-0.12514
LIN	Jamapa Cora 2	1	0.50859	0.50260	-0.27983
AMB	San Andrés Tuxtla, Veracruz	1.3	0.02385	-0.22354	0.28397
AMB	Mazatlán, Sinaloa	1.9	0.24087	-0.36138	-0.1785
AMB	Durango, Durango	1.7	-0.89726	0.8679	0.11756
AMB	Río Bravo, Tamaulipas	1	-0.06021	-0.21355	-0.26996
AMB	Ocozocuaula, Chiapas	0.7	0.00815	-0.17024	-0.1425
AMB	Madero, Durango	0.7	-0.48457	-0.02634	-0.38992
AMB	Medellín, Veracruz	0.7	0.29146	-0.1626	-0.24216
AMB	Orizaba, Veracruz	0.9	-0.06825	-0.41634	1.04622
AMB	Tochtepec, Puebla	1	0.17605	0.37961	0.50863
AMB	Ocampo, Guanajuato	1.1	-0.11814	-0.52317	-0.15954
AMB	Celaya, Guanajuato	0.7	0.18819	0.02971	-0.06629
AMB	Santiago Ixcuintla, Nayarit	0.9	0.9703	0.75436	-0.03956
AMB	Calera, Zacatecas	0.8	-0.21386	-0.02148	0.02779
AMB	Guasave, Sinaloa	0.5	-0.05659	0.08706	-0.49575
	\bar{X}	1			

Por otra parte, en Durango, Durango, se observó alta variación en el rendimiento de grano de los genotipos (CP1= -0.89726) (Figura 1 y Cuadro 3), lo cual se atribuye principalmente a diferencias en su adaptación en ese ambiente de evaluación y por una fuerte presión por el hongo causante de la mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*), ya que el cultivo tuvo buenas condiciones de humedad durante su desarrollo (564 mm de precipitación pluvial). En Santiago Ixcuintla, Nayarit y Durango, Durango se observó la interacción más alta entre el ambiente y los genotipos evaluados (CP1= 0.97030 y -0.89726, respectivamente)

of rain). Santiago Ixcuintla, Nayarit and Durango, Durango produced the highest interaction between environment and genotypes evaluated (CP1= 0.97030 and -0.89726, respectively) (Figure 1 and Table 3), indicating the poor adaptation of the black bean genotypes introduced from other areas of the country, such as NG 99279 and Negro 8025, originally from the Central Highland area.

Figure 2 and Table 3 show that the variety Negro Papaloapan not only display the highest average yield, but also a reduced interaction with its environment

(Figura 1 y Cuadro 3), lo que indica la pobre adaptación de los genotipos de frijol negro introducidos de otras regiones del país, como fueron NG 99279 y Negro 8025 originados en la región de la Mesa Central.

En la Figura 2 y Cuadro 3, se observa que la variedad Negro Papaloapan, además de presentar el mayor rendimiento promedio, mostró reducida interacción con el ambiente y un CP1 cercano a cero, que indica adaptación en todas las localidades de prueba. La línea Negro Citlali mostró la menor interacción con el ambiente ($CP1 = 0.00238$), pero su rendimiento promedio fue más bajo; esta variedad puede utilizarse en los programas de mejoramiento genético, para la generación de líneas y variedades con amplia adaptación. La variedad Frijozac que también obtuvo alto rendimiento promedio, presentó un valor de CP1 de -0.53471 , que indica que esta variedad interactuó fuertemente con el ambiente. La cercanía de las líneas Jamapa Cora 1, 2 y 3 (Figura 2), sugiere alta similitud entre ellas, las tres fueron derivadas de la variedad comercial Jamapa por selección individual.

and a CP1 close to zero, indicating adaptation in all trial locations. The line Negro Citlali displayed the least interaction with the environment ($CP1 = 0.00238$), although its average yield was lower. This variety can be used in the genetic breeding programs, for the creation of lines and varieties with wide adaptations. The variety Frijozac, which also had a high yield average, presented a CP1 value of -0.53471 , indicating that this variety interacted strongly with the environment. The proximity of lines Jamapa Cora 1, 2 and 3 (Figure 2), suggests a strong similarity between them; all three derived from the commercial variety Jamapa by individual selection.

In the search for genotypes with wide adaptabilities that can perform well in diverse environments, it is important to choose those that interact with the environment to a lower degree (Vargas and Crossa, 2000). However, the specific adaptation in a determined area is also desirable if the material shows stability throughout the years in that area.

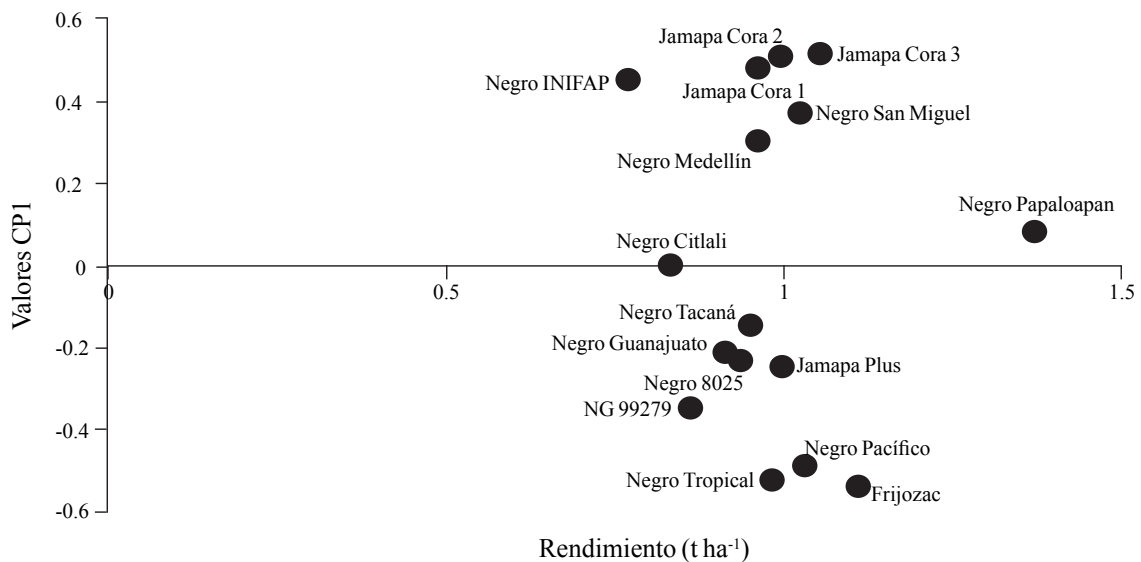


Figura 2. Efectos principales e interacción observada para el rendimiento de 16 genotipos de frijol negro.
Figure 2. Main effects and interaction observed for the yield of 16 genotypes of black beans.

En la búsqueda de genotipos con amplia adaptabilidad, que puedan rendir bien en diversos ambientes, es importante seleccionar los que interactúan en menor grado con el ambiente (Vargas y Crossa, 2000). Sin embargo, la adaptación específica en un área determinada, también es deseable si el material presenta estabilidad a través de años en esa área.

Results indicate that because Negro Papaloapan is a variety with a high productive capacity and stability in its grain yield, it can be validated in the different producing bean areas of the country, to later be recommended in commercial bean plantations in the country. This variety's wide adaptation may be related to its resistance to diseases and abiotic stresses such as terminal drought and its adaptation to acidic soils (López *et al.*, 2007b).

Los resultados indican que Negro Papaloapan, al ser una variedad con alta capacidad productiva y estabilidad en su rendimiento de grano, puede validarse en las diferentes regiones productoras de frijol del país, para su posterior recomendación en las siembras comerciales de frijol. La amplia adaptación de esta variedad probablemente esta relacionada con su resistencia a enfermedades y estreses abióticos como son la sequía terminal y su adaptación a suelos ácidos (López *et al.*, 2007b).

CONCLUSIONES

El efecto de las localidades de prueba resultó significativamente mayor que el de los genotipos y de la interacción. Esto indica que las prácticas culturales favorables para el cultivo como el riego, fertilización y control de enfermedades, son conducentes a la obtención de altos rendimientos.

La variedad Negro Papaloapan fue la más productiva y mostró amplia adaptación en los diferentes ambientes de producción de frijol de México. La variedad Frijozac también presentó alto rendimiento, pero su adaptación fue específica, para los estados de Zacatecas, Durango y Sinaloa.

LITERATURA CITADA

- Acosta, G. J. A.; González, R. H.; Torres, E. C. A.; Cuellar, R. I.; Acosta, D. E.; López, S. E.; Pérez, S. R. A.; Ibarra, P. F. J. y Rosales, S. R. 2004. Impacto de la genotecnia en el cultivo de frijol en México. *In*: Preciado, O. R. E. y S. A. Ríos R. (eds). Simposium aportaciones de la genotecnia a la agricultura. Toluca, Estado de México. 36-57 pp.
- Acosta-Gallegos, J. A. and White, J. W. 1995. Phenological plasticity as an adaptation mechanism to the Mexican highlands. *Crop Sci.* 35:199-204.
- Acosta-Gallegos, J. A.; Castellanos, J. Z.; Núñez-González, S.; Ochoa-Márquez, R.; Rosales-Serna, R. and Singh, S. P. 1995. Registration of "Flor de Mayo M38" common bean. *Crop Sci.* 35:941-942.

CONCLUSIONS

The effect of the trial locations turned out significantly higher than the effect of genotypes and interaction. This indicates that cultural habits such as irrigation, fertilization and disease control lead to higher yields.

The variety Negro Papaloapan was the most productive and displayed a wide adaptation in the diverse producing bean environments in Mexico. The variety Frijozac also displayed a high yield, although its adaptation was specific to the states of Zacatecas, Durango and Sinaloa.

End of the English version



- Castellanos, J. Z.; Guzmán-Maldonado, H.; Jiménez, A.; Mejía, C.; Muñoz-Ramos, J. J.; Acosta-Gallegos, J. A.; Hoyos, G.; López-Salinas, E.; González-Eguiarte, D.; Salinas-Pérez, R.; González-Acuña, J.; Muñoz-Villalobos, J. A.; Fernández-Hernández, P. y Cáceres, B. 1997. Hábitos preferenciales de los consumidores de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. *Arch. Latinoam. Nutr.* 47(1):163-167.
- Castellanos, R. J. Z.; Guzmán, M. H.; Muñoz, R. J. J. y Acosta, G. J. A. 2003. Flor de Mayo Anita, nueva variedad de frijol para la región central de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(3):209-211.
- Crossa, J.; Gauch Jr, H. G. and Zobel, R. W. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trails. *Crop Sci.* 30(3):493-500.
- Eberhart, A. S. and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 9:357-361.
- Finlay, K. W. and Wilkinson, G. N. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Aust. J. Agr. Res.* 14:742-754.
- Gauch, H. G. and Zobel, R. W. 1996. AMMI analysis of yield trials. *In*: Kang, M. S. and Gauch, H. G. (eds.) Genotype-by-environment interaction. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. p. 1-40.
- Gauch Jr, H. G. and Furnas, R. E. 1991. Statistical analysis of yield trails with MATMODEL. *Agron. J.* 83:916-920.

- González, R. H.; Pajarito, R. A.; Rosales, S. R.; Compeán, G. F. J.; López, H. J. y Jolalpa, B. J. L. 2008. Oportunidades de mercado para el frijol producido en Durango. INIFAP-CIRNO. Campo Experimental Valle de Guadiana. Durango, México. Publicación especial. Núm. 25. 55 p.
- Kelly, J. D. 1997. A review of varietal response to bean common potyvirus in *Phaseolus vulgaris*. Plant Varieties Seeds. 10:1-6.
- López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Villar, S. B.; Cumpián, G. J.; Ugalde, A. F. J. y Becerra, L. E. N. 2007a. Negro Papaloapan, nuevo cultivar de frijol para las áreas tropicales de México. Agric. Téc. Méx. 33(3):259-269.
- López, S. E.; Villar, S. B.; Tosquy, V. O. H.; Ugalde, A. F. J.; Becerra, L. E. N. y Cumpián, G. J. 2007b. Negro Papaloapan, nueva variedad de frijol para las áreas tropicales de Veracruz y Chiapas. SAGARPA-INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. Folleto técnico. Núm. 41. 21 p.
- Morales, J. F. 1979. El mosaico común del frijol. CIAT. Cali, Colombia. 22 p.
- Mukeshimana, G.; Pañeda, A.; Rodríguez-Suárez, C.; Ferreira, J. J.; Giraldez, R. and Kelly, J. D. 2005. Markers linked to the bc-3 gene conditioning resistance to bean common mosaic potyviruses in common bean. Euphytica. 144(3):291-299.
- Plaisted, R. L. 1960. A shorter method for evaluating the ability of selection to yield consistently over locations. Amer. Potato J. 37:166-172.
- Plaisted, R. L. and Peterson, C. 1959. A technique for evaluating the ability of selections for yield consistently in different locations or season. Amer. Potato J. 36:381-385.
- Rosales, S. R.; Acosta, G. J. A.; Muruaga, M. J. S.; Hernández, C. J. M.; Esquivel, E. G. y Pérez, H. P. 2004. Variedades mejoradas de frijol. SAGARPA-INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Estado de México, México. Libro técnico. Núm. 6. 148 p.
- Sánchez, R. G.; Manríquez, N. J. A.; Martínez, M. F. A. y López, I. L. A. 2001. El frijol en México competitividad y oportunidades de desarrollo. Boletín informativo. FIRA. XXXIII (316):1-87.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 1999. SAS/STAT user's guide. Versión 8.0. SAS Institute. Cary, NC. USA.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2008. Anuarios estadísticos de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México, D. F. URL: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2006. Situación actual y perspectivas de la producción de frijol en México 2000-2005. SAGARPA. México. 34 p.
- Singh, S. P. 1982. A key for identification of different growth habits of *Phaseolus vulgaris* L. Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 25:92-95.
- Singh, S. P.; Gepts, P. and Debouck, D. G. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). Econ. Bot. 45:379-396.
- Shukla, G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype environmental of variability. Heredity. 29:237:245.
- Vargas, H. M. y Crossa, J. 2000. El análisis AMMI y la gráfica del biplot en SAS. Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Distrito Federal, México. 42 p.
- White, J. W. and Laing, D. R. 1989. Photoperiod response of flowering in diverse genotypes of common bean. Field Crops Res. 23:159-175.
- Wricke, G. 1962. Über eine methode zur erfassung der ökologis chen streubreite ifeldversuchen. Z. Pflanzenzuchtg. 47:92-96.
- Yates, F. and Cochran, W. G. 1938. The analysis of groups of experiments. J. Agric. Sci. 28:556-580.