

## Genotipos de frijol negro opaco resistentes a sequía terminal\*

### Opaque Negro bean genotypes resistant to terminal drought

Oscar Hugo Tosquy-Valle<sup>§1</sup>, Ernesto López-Salinas<sup>1</sup>, Néstor Francisco-Nicolás<sup>1</sup>, Jorge Alberto Acosta-Gallegos<sup>2</sup> y Bernardo Villar-Sánchez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba km 34, mpio. Medellín de Bravo, Veracruz. A. P. 429, C. P. 91700, Veracruz, Veracruz, México. Tel. 01 229 2622232 y 33. (lopez.ernesto@inifap.gob.mx; francisco.nestor@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5. C. P. 38000, Celaya, Guanajuato. (jacostagal@gmail.com). <sup>3</sup>Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP. Carretera Ocozocoautla-Cintalapa km 3.0. C. P. 29140, Ocozocoautla, Chiapas. (villar.bernardo@inifap.gob.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: tosquy.oscar@inifap.gob.mx.

#### Resumen

En Veracruz, la sequía terminal es el factor abiótico que más limita la producción de frijol *Phaseolus vulgaris* L. en el sistema de producción de humedad residual. Los objetivos de la investigación fueron: clasificar genotipos de frijol negro opaco por su resistencia a sequía e identificar los de mayor eficiencia en rendimiento en condiciones de riego y sequía terminal. En invierno-primavera de 2013, se condujeron dos experimentos en Cotaxtla, Veracruz; uno con riego completo y el otro con suspensión de riego a partir del inicio de floración. Se evaluaron 22 líneas y las variedades Negro INIFAP, Negro Tacaná y Negro Jamapa, en diseño experimental bloques al azar con tres repeticiones. Se cuantificó días a madurez fisiológica, producción de materia seca sin grano, vainas por planta, semillas por vaina, peso de 100 semillas y rendimiento de grano. Como estimadores de eficiencia se utilizaron los índices de susceptibilidad a sequía (ISS) y de eficiencia relativa del rendimiento (IER). El rendimiento y la cantidad de vainas por planta fueron las características más afectadas por la sequía terminal, con reducciones promedio de 41.39 y 29.97%. Con ISS menores a 0.81, NCB-229, SCN-2, Jamapa Plus y SEN-70 fueron los genotipos más resistentes a sequía, mientras que X02-33-159-2, X02-33-147-2, B-98311, MBSF-14729 y Negro

#### Abstract

In Veracruz, terminal drought is the most limiting abiotic feature for the production of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in the production system of residual moisture. The objectives of the research were: to rated opaque Negro bean genotypes for resistance to drought and to identify the most efficient yield under irrigated and terminal drought in winter-spring 2013, two experiments were conducted Cotaxtla, Veracruz; one with full irrigation and other irrigation suspension from the start of flowering. 22 lines and varieties Negro INIFAP, Negro Tacaná and Negro Jamapa were evaluated in randomized block experimental design with three replications. Days at physiological maturity were quantified, dry matter production without grain, pods per plant, seeds per pod, 100 seed weight and grain yield. As estimators of efficiency indices drought susceptibility (ISS) and relative efficiency yield (IER) were used. Yield and the number of pods per plant were the most affected characteristics by terminal drought, with average reductions of 41.39 and , NCB-229, SCN-2, Jamapa Plus and SEN-70 were the most resistant genotypes to drought, whereas X02-33-159-2, X02-33-147-2, B 98311, MBSF-14729 and Negro Jamapa, the most susceptible. CIAT-103-25, SCN 2 SEN 70, NGO 229, 17-99 and NCB 229 showed the best efficiency in

\* Recibido: enero de 2014  
Aceptado: junio de 2014

Jamapa, los más susceptibles. CIAT-103-25, SCN 2, SEN 70, NGO 17-99 y NCB 229, mostraron la mayor eficiencia en rendimiento con riego y sequía (IER mayor a 1.35), en tanto que X02-33-159-2, B-98311, MBSF-14729 y Negro Jamapa, tuvieron la menor eficiencia productiva.

**Palabras clave:** *Phaseolus vulgaris* L., estrés hídrico terminal, resistencia genética, selección.

## Introducción

En el estado de Veracruz, de 2008 a 2012 se sembraron en promedio 36 318.3 ha de frijol *Phaseolus vulgaris* L., de grano negro opaco (SAGARPA, 2014). Alrededor de 65% de la superficie cultivada con esta leguminosa, es sembrada al final de la temporada de lluvias, durante el ciclo otoño-invierno (SAGARPA, 2014), cuya producción depende en gran parte de las escasas lluvias que ocurren durante la etapa reproductiva del cultivo y de la humedad residual almacenada en el suelo, observándose con frecuencia sequía terminal, la cual se presenta después de la floración, durante las etapas de llenado de vainas y madurez fisiológica (Acosta-Gallegos *et al.*, 1998; López *et al.*, 2011a).

Diversos autores(as) coinciden en afirmar que en términos de rendimiento, el frijol es más sensible al estrés hídrico durante la etapa reproductiva del cultivo, que en las fases vegetativas, debido al incremento en la demanda de asimilados por las estructuras reproductivas (Acosta *et al.*, 1999; Acosta-Díaz *et al.*, 2004; Manjeru *et al.*, 2007). La falta de humedad durante esta etapa, provoca aborto de flores, disminución de componentes de rendimiento e impide que la planta exprese su potencial productivo (Nuñez-Barrios *et al.*, 2005; Muñoz-Perea *et al.*, 2006; Ghassemi-Golezani y Mardfar, 2008). Por otra parte, dependiendo de la duración y magnitud de la sequía, la capacidad del suelo para almacenar agua para la raíz, las condiciones atmosféricas que influyen en la tasa de evapotranspiración y de la constitución genética del cultivar, puede ocasionar pérdidas de 20 ó hasta 100% en el rendimiento de frijol (Castañeda *et al.*, 2006; López *et al.*, 2008).

La problemática señalada indica la necesidad de disponer de genotipos de frijol resistentes a la sequía terminal, para disminuir los efectos negativos de este factor abiótico en las siembras de humedad residual (Frahm *et al.*, 2003). La evaluación de genotipos bajo condiciones de riego y con estrés hídrico en la etapa reproductiva del cultivo, en combinación

irrigation and drought yield (IER greater than 1.35) while X02-33-159-2, B-98311, MBSF-14729 and Negro Jamapa, had the lowest production efficiency.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris* L., terminal water stress, genetic resistance, selection.

## Introduction

In the state of Veracruz from 2008 to 2012, 36 318.3 ha of beans *Phaseolus vulgaris* L. were seeded on average, of opaque grain (SAGARPA, 2014). Around 65% of the cultivated area with this legume is sown at the end of the rainy season, during the autumn-winter (SAGARPA, 2014), whose production depends largely on the slow rainfall occurring during the reproductive stage of the crop and the residual moisture stored in the soil, frequently observed terminal drought, which occurs after flowering, during the stages of pod filling and physiological maturity (Acosta-Gallegos *et al.*, 1998; López *et al.*, 2011a).

Several authors agree that in terms of yield, beans are more sensitive to water stress during the reproductive stage of the crop in the s growth phases, due to increased demand assimilated by the reproductive structures (Acosta *et al.*, 1999; Acosta-Díaz *et al.*, 2004; Manjeru *et al.*, 2007). Lack of moisture during the stage causes termination of flower, decrease in yield components and prevents the plant to express its productive potential (Nuñez-Barrios *et al.*, 2005; Muñoz-Perea *et al.*, 2006; Ghassemi-Golezani and Mardfar, 2008). Moreover, the depending duration and magnitude of drought, the soil's ability to store water for the root, the atmospheric conditions that affect the rate of evapotranspiration and the genetic constitution of l grow, can cause losses of up to 20 or 100% in bean yield (Castañeda *et al.*, 2006;. López *et al.*, 2008.).

The problems marked indicates the need for genotyping terminal drought resistant beans, to decrease the negative effects of this abiotic factor in the planting of residual moisture (Frahm *et al.*, 2003). Evaluation of genotypes under irrigation and water stress during the reproductive stage of the crop, in combination with the use of selection indices, It is a methodology that has results in identifying superior lines, in the process of breeding for drought resistance species (Schneider *et al.*, 1997). For effective selection, it has been proposed based on an index to identify

con la utilización de índices de selección, es una metodología que ha resultado en la identificación de líneas superiores, en el proceso de mejoramiento genético para resistencia a sequía en esta especie (Schneider *et al.*, 1997). Para una selección efectiva, se ha propuesto basar ésta, en un índice que permita identificar genotipos con alta eficiencia en el rendimiento de grano en ambas condiciones de humedad y otro que permita seleccionar aquellos, cuyo rendimiento muestre menor reducción en condiciones de sequía (Rosales-Serna *et al.*, 2000).

El Programa de Frijol del Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) cuenta con un grupo de genotipos de frijol negro generados e introducidos, que pueden representar una opción viable para las siembras de frijol de humedad residual en el estado de Veracruz. El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivos evaluar este grupo de genotipos, para clasificarlos por su resistencia al estrés hídrico terminal, identificar los que muestren mayor eficiencia en el rendimiento con riego y sequía y determinar que componente de rendimiento se asocia a una mayor producción de grano en ambas condiciones de humedad.

## Material y métodos

El 31 de enero de 2013, se establecieron dos ensayos de frijol en la localidad de La Colonia Ejidal, municipio de Cotaxtla, Veracruz, ubicada en el centro del estado de Veracruz, a 18° 54' 31.6" latitud norte y 96° 13' 54.2" longitud oeste, a una altitud de 26 m. El clima en la localidad es cálido subhúmedo Aw (w)(g) (García, 1987), con una precipitación pluvial anual de 1 336.8 mm y temperatura media anual de 25.4°C (Díaz *et al.*, 2006). El suelo donde se establecieron los ensayos, es de textura migajón-arenosa, con un pH moderadamente ácido (6.06), pobre en su contenido de materia orgánica (1.74%) y nitrógeno inorgánico (2 ppm), medio en fósforo (27.1 ppm) y alto en potasio (300 ppm) (253 ppm) (López-Collado, 1998).

En ambos experimentos se evaluaron 25 genotipos de frijol de la raza Mesoamericana (Singh *et al.*, 1991): cinco líneas del Programa de Investigación de Frijol del INIFAP: NGO 17-99, ELS-9-27, ELS-15-55, Jamapa Plus y NGO-07022, 13 del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT): DOR-448, CIAT-103-25, SEQ-344-21, MBSF-14729, SCN-2, SCN-3, SCN-4, SCN-6, SEN-26, SEN-56, SEN-70, NCB-229 y TLP-19, tres de la Universidad de Puerto Rico (UPR): X02-33-159-2, X02-33-153 y X02-33-147-2 y B-98311 de

genotipos with high efficiency in grain yield in both moisture conditions and other indicators to select those whose yield shows less reduction in rainfed conditions (Rosales-Serna *et al.*, 2000).

The Bean Program of the Experimental Field Cotaxtla, of the National Research Institute of Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) has a group of black bean genotypes Generators or Introducers, which may represent a viable option for planting bean moisture residual in the state of Veracruz. The present research had as objective to evaluate this group of genotypes for classifying them according to their resistance to terminal drought stress, identify those that show greater efficiency in irrigation and drought yield and determine which component yield increased grain yield in both conditions are associated with humidity.

## Materials and methods

On January 31 2013, two trials bean were settled in the La Colonia Ejidal, Municipality Cotaxtla, Veracruz, located in the center of the state of Veracruz, at 18° 54' 31.6" North latitude and 96° 13' 54.2" W, at an elevation of 26 m, the climate is warm subtropical locality Aw (w) (g) (García, 1987), with an annual rainfall 1 336.8 mm and annual average temperature of 25.4 ° C (Díaz *et al.*, 2006). The soil where the trials were established is sandy-loam texture, moderately acidic pH (6.06), poor in organic matter content (1.74%) and inorganic nitrogen (2 ppm), medium in phosphorus (27.1 ppm) and high potassium (300 ppm) (253 ppm) (López-Collado, 1998).

In both experiments 25 genotypes were evaluated of Mesoamerican bean race (Singh *et al.*, 1991.): five lines of the Bean Research Program of INIFAP: NGO 17-99, ELS-9-27, ELS-15-55, Jamapa Plus and NGO-07022, 13 of the International Center for Tropical Agriculture (CIAT) DOR-448, CIAT-103-25, SEQ-344-21, MBSF-14729, SCN-2, SCN-3, SCN-4, SCN-6, SEN-26, SEN-56, SEN-70, NCB-229 y TLP-19, three of the University of Puerto Rico (UPR): X02-33-159-2, X02-33-153 y X02-33-147-2 y B-98311 from Michigan State University and three commercial varieties: INIFAP, Negro Tacaná y Negro Jamapa generated by the Bean Program of INIFAP, for the southeastern Mexico (López *et al.*, 1994;. 1996). Some of these first two lines and varieties have shown good response in grain yield under conditions of moisture deficiency

la Universidad Estatal de Michigan, así como tres variedades comerciales: Negro INIFAP, Negro Tacaná y Negro Jamapa, generadas por el Programa de Frijol del INIFAP, para el sureste de México (López *et al.*, 1994; 1996). Algunas de estas líneas y las dos primeras variedades han mostrado buena respuesta en el rendimiento de grano, bajo condiciones de deficiencia de humedad (López *et al.*, 2008; 2011a). Todos los genotipos se establecieron a una densidad de 250 000 plantas ha<sup>-1</sup>, en diseño experimental bloques al azar con tres repeticiones y parcelas de tres surcos de 5 m de longitud, separados a 0.72 m, donde la parcela útil correspondió al surco central.

Uno de los ensayos se condujo bajo condiciones de riego por gravedad durante todo el ciclo del cultivo; el primero se realizó en pre-siembra, con la finalidad de que hubiera una nacencia uniforme del cultivo y posteriormente se aplicaron seis riegos con una lámina de riego de 50 mm cada uno y un intervalo entre riegos de 10 a 15 días, de acuerdo con las condiciones de humedad del suelo. En el otro ensayo sólo se aplicaron cuatro riegos, con una lámina de agua total de 200 mm y se suspendió el riego a los 37 días después de la siembra, cuando la mayoría de los genotipos se encontraban en inicio de floración.

En los dos ensayos se realizaron muestreos de suelo en los estratos de 0-15, 15-30 y 30-45 cm, una vez por semana, durante el ciclo del cultivo, para determinar su contenido de humedad y en el estrato de 0 a 30 cm, para determinar el punto de marchitez permanente y la capacidad de campo, para obtener la humedad aprovechable (Aguilar y Martínez, 1980) en la cual se desarrolló el cultivo de frijol bajo riego y sequía.

La fertilización, el control de malezas y plagas como la doradilla (*Diabrotica balteata*), así como la cosecha se realizaron de acuerdo a lo recomendado por López *et al.* (2011b) para el cultivo de frijol en Veracruz. Cabe señalar, que durante todo el ciclo del cultivo, no hubo presencia de enfermedades que afectaran el desarrollo de las plantas y el rendimiento de grano, tanto en el ensayo de riego, como en sequía.

En ambas condiciones de humedad se determinaron las siguientes características: 1) días a madurez fisiológica de los genotipos, contados a partir de la siembra hasta 50% de las plantas de cada uno de ellos, sus vainas cambiaron de color verde a amarillo o morado; 2) producción de materia seca sin grano, las plantas cosechadas y trilladas de cada parcela se expusieron al sol por un periodo de entre seis y ocho días, para su secado completo, y posteriormente se determinó su peso, el cual se transformó en kilogramos por hectárea; 3) rendimiento de grano, que se calculó a partir

(López *et al.*, 2008; 2011a). All genotypes were established at a density of 250 000 plants ha<sup>-1</sup>, in randomized block experimental design with three replications and plots three rows 5 m long, 0.72 m apart, where the useful plot corresponded to the central sulcus.

One trial was conducted under conditions of gravity irrigation throughout the crop cycle; the first was in pre-sowing, in order to have a uniform emergence of the crop, subsequently applying six irrigations with irrigation depth of 50 mm each and an interval between irrigations were applied 10 to 15 days, according to the soil moisture conditions. In the other trial only four irrigations were applied with a total of 200 mm and irrigation was discontinued at 37 days after sowing, when most of the genotypes were at the beginning of flowering.

In both trials soil sampling during the crop cycle were performed in strata 0-15, 15-30, and 30-45 cm, once a week, to determine the moisture content and the 0 to 30 cm, for determining the wilting point and field capacity for the soil moisture (Aguilar and Martínez, 1980) in which the bean crop under irrigation and drought developed.

Fertilization, weed and pest control as doradilla (*Diabrotica balteata*) and harvest were performed as recommended by López *et al.* (2011b) for growing beans in Veracruz. It should be noted that throughout the crop cycle, there was no presence of diseases that affect the plant growth and grain yield in both test irrigation and drought.

In both moisture conditions were determined the following characteristics: 1) days to physiological maturity genotypes, counted from sowing to 50% of the plants of each of them, their sheaths changed from green to yellow or purple; 2) production of dry matter without grain threshed and harvested plants from each plot were exposed to sunlight for a period of six to eight days to complete drying, and later the weight was determined, which became kilograms per hectare; 3) grain yield, which was calculated from the weight of grain harvested from each plot, in kilograms per hectare at 14% moisture; 4) number of pods per plant, determined on five plants with complete competence, taken randomly in each plot, at the stage of harvest, which pods were counted and the average was obtained; 5) number of seeds per pod, measured in three plants in each plot, 10 of which were stolen pods, which they determined the amount of seed per pod and the average was obtained; and 6) that weight 100 seeds, 100 seeds determined randomly taken from each plot, in grams.

del peso del grano cosechado y limpio de cada parcela, en kilogramos por hectárea al 14% de humedad; 4) número de vainas por planta, determinado en cinco plantas con competencia completa, tomadas al azar en cada parcela, en la etapa de cosecha, a las cuales se les contabilizaron sus vainas y se obtuvo el promedio; 5) número de semillas por vaina, medido en tres plantas de cada parcela, de las cuales se sustrajeron 10 vainas, a las que se les determinó la cantidad de semilla por vaina y se obtuvo su promedio; y 6) peso de 100 semillas, determinado en 100 semillas tomadas al azar de cada parcela, en gramos.

Se realizaron análisis de varianza de las características por experimento (condición de humedad) y análisis combinado del rendimiento de grano. En los factores en que se detectó significancia, para la separación de promedios se aplicó la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS)  $p \leq 0.05$ . También se realizaron correlaciones simples al 5% de probabilidad, mediante el procedimiento PROC CORR del SAS (SAS Institute, 1989), para determinar la relación que existió entre las variables evaluadas y el rendimiento de grano en condiciones de riego y estrés por humedad (Little y Hills, 1998).

Para calcular la intensidad y el efecto de la sequía sobre el rendimiento de grano de cada genotipo se utilizó el índice de susceptibilidad a la sequía (ISSi), propuesto por Fischer y Maurer (1978), que se calculó con la ecuación:  $ISSi = 1 - (Y_i / Y_c) / IIS$ , donde  $Y_i$  = promedio de rendimiento de cada genotipo con suspensión de riego a partir del inicio de floración;  $Y_c$  = promedio de rendimiento de cada genotipo con aplicación de riego durante el ciclo del cultivo; el índice de intensidad a la sequía (IIS), se obtuvo mediante la ecuación:  $IIS = 1 - (Y_i / Y_c)$ , en la que  $Y_i$  = promedio de rendimiento con suspensión de riego a partir del inicio de floración y  $Y_c$  = promedio de rendimiento con aplicación de riego durante todo el ciclo. Este índice está en función de la reducción del rendimiento por efecto de sequía; cuando es menor la disminución, es más bajo el ISS. Un valor de 1 indica una mediana susceptibilidad a la sequía; un valor mayor de 1 indica que el genotipo es susceptible y valores cercanos a cero señalan mayor resistencia a este factor abiótico (Fischer y Maurer, 1978).

También se calculó el índice de eficiencia relativa (IERi) del rendimiento de cada genotipo propuesto por Graham (1984), para clasificar los genotipos con base en el rendimiento obtenido en ambas condiciones de humedad, mediante la ecuación:  $IERi = (Y_i / Y_i) (Y_c / Y_c)$ , donde IERi = índice de eficiencia relativa de cada genotipo;  $Y_i$  = rendimiento del genotipo i con suspensión de riego a partir del inicio

Variance analysis of the characteristics by experiment (moisture condition) were made and combined analysis of grain yield. In significance factors that were detected, for the separation of the test average minimum significant difference (DMS) was applied  $p \leq 0.05$ . simple correlations were also 5% probability, using the PROC CORR procedure of SAS (SAS Institute, 1989) to determine the relationship that existed between these factors and grain yield under irrigated and moisture stress (Little and Hills, 1998).

In order to calculate the intensity and the effect of drought on grain yield of each genotype index susceptibility to drought (ISSi), proposed by Fischer and Maurer (1978), which was calculated with the equation was used:  $ISSi = 1 - (Y_i / Y_c) / IIS$ , where  $Y_i$  = average yield of each genotype irrigation suspension from the beginning of flowering;  $Y_c$  = average yield of each genotype with irrigation application during the growing season; intensity index drought (IIS), was obtained by the equation:  $IIS = 1 - (Y_i / Y_c)$ , where  $Y_i$  = average yield with irrigation suspension from the start of flowering and  $Y_c$  = average irrigation application yield throughout the cycle. This index is a function of slow yield for drying effect; when the decrease is smaller, lower than the ISS. A value of 1 indicates a medium susceptibility to drought; a value greater than 1 indicates that the genotype is susceptible and values close to zero indicate greater resistance to abiotic (Fischer and Maurer, 1978).

The relative efficiency index (IERi) the yield of each proposed by Graham (1984) genotype was also calculated for classifying genotypes based on yield in both moisture conditions, using the equation:  $IERi = (Y_i / Y_i) (Y_c / Y_c)$ , where IERi = index of relative efficiency of each genotype;  $Y_i$  = i genotyping yield with irrigation suspension from the beginning of flowering;  $Y_i$  = average irrigation suspension from the beginning of flowering;  $Y_c$  = yield of the i genotyping with irrigation during the growing season; and  $Y_c$  = average irrigated during the growing season.

## Results and discussions

In the irrigation full test, highly significant differences ( $p \leq 0.01$ ) were found between genotypes in variables: days to physiological maturity, dry matter production without grain, number of seeds per pod and 100 seed weight, and

de floración;  $Y_i$  = rendimiento promedio con suspensión de riego a partir del inicio de floración;  $Y_{c_i}$  = rendimiento del genotipo  $i$  con riego durante el ciclo del cultivo; y  $Y_c$  = rendimiento promedio con riego durante el ciclo del cultivo.

## Resultados y discusión

En el ensayo de riego completo, se detectaron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre genotipos en las variables: días a madurez fisiológica, producción de materia seca sin grano, número de semillas por vaina y peso de 100 semillas, y diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en el número de vainas por planta y rendimiento de grano, mientras que en el ensayo de sequía, en todas las características evaluadas se detectaron diferencias altamente significativas.

Bajo condiciones de riego completo, ocho genotipos, incluida la variedad Negro Jamapa, presentaron un ciclo de madurez significativamente más largo, con un número de días de entre 82 y 83, mientras que SEN-70 fue el genotipo más precoz con 73 d, seguido de SEN-56, SEN-26, SCN-2 y SCN-6, los cuales alcanzaron su madurez en un tiempo menor de 78 d. En condiciones de sequía, las líneas ELS-15-55, NGO-07022, TLP-19 y la variedad Negro Jamapa fueron las más tardías, cuya madurez fisiológica ocurrió entre 77.0 y 78.3 d, en tanto que SEN-70, SCN-6 y SEN-56 fueron las líneas más precoces, con un número de días menor a 7. La característica de precocidad de estos genotipos, se ha documentado en otros estudios de evaluación realizados en el sureste de México (López *et al.*, 2012), la cual puede representar un mecanismo de escape de las plantas a la sequía terminal, o bien, puede minimizarse el daño por efecto de este factor abiótico (Acosta-Díaz *et al.*, 2009). En condiciones de sequía durante la etapa reproductiva, el número de días a la madurez del cultivo se reduce (Rosales-Serna *et al.*, 2000; Terán y Singh, 2002a; 2002b); en este estudio, la reducción en el ciclo del cultivo de los genotipos por la suspensión del riego al inicio de floración fue de entre 4.86 y 11.59%, con un promedio porcentual de 7.62, equivalentes a 6.08 d.

Con suministro de riego durante todo el ciclo, seis genotipos se ubicaron en el grupo sobresaliente en producción de materia seca sin grano, de los cuales, las líneas ELS-15-55 y TLP-19 fueron las de mayor producción con 3 359 y 3 302 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; el primer genotipo, junto con Negro INIFAP y ELS-9-27 también obtuvieron las mayores producciones de biomasa en condiciones de deficiencia de

significant differences ( $p \leq 0.05$ ) in the number of pods per plant and grain yield, while as in test drought in all characteristics evaluated highly significant differences were detected.

Under conditions of full irrigation, eight genotypes, including Negro Jamapa variety, had a significantly longer cycle maturity, with the number of days between 82 and 83, while SEN-70 was the earliest genotype 73 d, followed by NSS-56, NSS-26, SCN and SCN-2-6, which reached maturity in a shorter time of 78 d. Under drought conditions, the ELS-15-55-07022 NGO, TLP-19 Negro Jamapa and variety were the later lines, whose physiological maturity occurred between 77.0 and 78.3 d, whereas SEN-70, SCN-6 and SEN-56 were the earliest lines, with a total of less than 7 days; feature precocity of these genotypes has been documented in other evaluation studies conducted in southeastern Mexico (López *et al.*, 2012), which may represent an escape mechanism of plants to terminal drought, or you can minimize the damage effect of this abiotic factor (Acosta-Díaz *et al.*, 2009). In drought conditions during the reproductive stage, the number of days to maturity of the crop is reduced (Rosales-Serna *et al.*, 2000; Terán and Singh, 2002a, 2002b); in this study, the reduction in the crop cycle of genotypes by irrigation is suspended at the beginning of flowering was between 4.86 and 11.59%, with an equivalent to 6.08 d 7.62 percent average.

With irrigation supply throughout the cycle, six genotypes were in the outstanding group in production of grain-free dry matter, of which the ELS-15-55 and TLP-19 lines were the most productive 3 359 and 3 302 kg ha<sup>-1</sup>, respectively; The first genotype, along with Negro INIFAP and ELS-9-27 also showed the highest biomass production under conditions of moisture deficiency (> 2 870 kg ha<sup>-1</sup>). In turn, the SEN-56 X02-33-147-2lines NGO-07022: genotypes that showed the lowest percentage reductions of this feature (< 7%) due to terminal drought, whereas SCN-6, SCN-3 X02-33-159, SEQ-344-21 and DOR-448 lines were the most affected with further reductions to 32% (Data not shown). Generally, genotypes that produce more biomass in both irrigated and drought, have high grain yield in both moisture conditions (Rosales-Serna *et al.*, 2000; Acosta-Díaz *et al.*, 2004), in this study, this feature only related to genotypes that have a longer cycle maturity ( $r = 0.56^{**}$  and  $0.51^{**}$ , under irrigation and drought, respectively), and not with that obtained highest grain yield ( $r = -0.33$  and  $-0.04$  ns).

humedad ( $> 2870 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A su vez, las líneas SEN-56, X02-33-147-2 y NGO-07022 fueron los genotipos que mostraron las menores reducciones porcentuales de esta característica ( $< 7\%$ ) por efecto de la sequía terminal, mientras que las líneas SCN-6, SCN-3, X02-33-159, SEQ-344-21 y DOR-448 fueron las más afectadas con reducciones mayores a 32% (datos no presentados). Por lo general, los genotipos que producen mayor biomasa, tanto en riego como en sequía, presentan alto rendimiento de grano en ambas condiciones de humedad (Rosales-Serna *et al.*, 2000; Acosta-Díaz *et al.*, 2004); en este estudio, esta característica, sólo se relacionó con genotipos que tienen un ciclo de madurez más largo ( $r=0.56^{**}$  y  $0.51^{**}$ , bajo riego y sequía, respectivamente), y no con los que obtuvieron mayor rendimiento de grano ( $r=-0.33$  y  $-0.04$  ns).

Bajo riego, 16 genotipos incluida la variedad Negro Tacaná, obtuvieron las mayores producciones de vainas por planta, pero de todos ellos, sólo las líneas NCB-229, SEN-70, X02-33-153, SCN-2, CIAT-103-25 y NGO-17-99 produjeron un número de vainas significativamente sobresaliente en condiciones de sequía; NCB-229, seguido de SEN-70 y SCN-2 presentaron los menores porcentajes de reducción por el estrés hídrico, mientras que las líneas X02-33-159-2, X02-33-147-2, ELS-15-55, TLP-19 y la variedad Negro Jamapa fueron las más afectadas en esta característica, en las cuales hubo una reducción superior a la media porcentual (Cuadro 1). El número promedio de vainas producidas por planta fue superior en el tratamiento con riego comparado con el de sequía, cuya reducción media por efecto de este factor abiótico fue cercana a 30%, lo cual concuerda con lo encontrado por López *et al.* (2011a), en el sentido de que este componente es altamente afectado cuando los genotipos se someten a estrés por humedad durante la etapa reproductiva del cultivo. Cabe destacar, que tanto en riego, como en sequía, la producción de vainas por planta estuvo altamente correlacionada en forma positiva con el rendimiento de grano ( $r=0.87^{**}$  y  $0.95^{**}$ , respectivamente); es decir, en general, los genotipos que produjeron más vainas en ambas condiciones de humedad, fueron los más rendidores, lo que indica que el número de vainas por planta es uno de los principales componentes del rendimiento (Adams, 1967).

En el mismo cuadro se observa que en la condición de riego, 17 genotipos presentaron vainas con un número de semillas significativamente mayor al del resto de los genotipos, de los cuales, 13 también lo hicieron en la condición de sequía. Los genotipos menos afectados en este carácter por el estrés hídrico terminal fueron: SEN-26, ELS-9-27, X02-33-153, NGO-17-99, Negro INIFAP, SCN-3 y CIAT-103-25, en los cuales se

Under irrigated conditions, 16 genotypes including Negro Tacaná variety, showed the highest production of pods per plant, but of these, only the lines NCB-229, SEN-70, X02-33-153, SCN-2-103-CIAT NGO-25 and 17-99 produced a significant number of outstanding pods under drought conditions; NCB-229, followed by SEN-70 and SCN-2 had the lowest percentages of reduction by water stress, while the X02-33-159-2 X02-33-147-2 ELS-15-55, lines TLP-19 Negro Jamapa and variety were the most affected in this feature, in which there was a higher than average percentage (Table 1) reduction. The average number of pods produced per plant was higher in the treatment with irrigation compared with drought; a mean reduction effect of this abiotic factor was close to 30%, which is consistent with the findings of López *et al.*, (2011a), in the sense that the component is highly affected when genotypes are stressed by moisture during the reproductive stage.

Remarkably, in both irrigation and drought conditions, the production of pods per plant was highly positively correlated with grain yield ( $r=0.87^{**}$  and  $0.95^{**}$ , respectively), i.e., in general, genotypes with more pods in both moisture conditions had the highest yieldings, indicating that the number of pods per plant is one of the main components of yield (Adams, 1967).

In the same table, is shown that, the condition e n irrigation pods 17 genotypes presented a significantly higher number of seeds than the other genotypes, of which 13 also did in drought condition. The genotypes in this character less affected by terminal drought stress were: SEN-26, ELS-9-27, X02-33-153, NGO-17-99, Negro INIFAP, SCN-3 and CIAT-103-25, which less than 4% reduction is presented. The number of seeds per pod was the variable that had the lowest average reduction (7.07%) due to moisture stress, i.e., there was no difference in the average number of seeds produced per pod in both conditions which is largely due to the fact that this feature is slightly modified by the environment itself; this behaviour has already been observed in other research on drought in beans (Acosta-Gallegos and Kohashi-Shibata, 1989, López *et al.*, 2008). In this study, the number of seeds produced per pod was not associated with bean yields in both irrigated condition, and drought ( $r=0.22$  and  $0.3$  ns).

The lines SCN-2, SCN-6, SEN-56-98311 and B-14729 MBSF obtained the highest weights of 100 seeds under irrigation, which were higher than those of other genotypes.

presentó una reducción menor a 4%. El número de semillas por vaina, fue la variable que presentó la menor reducción promedio (7.07%) por efecto de estrés por humedad, es decir, no hubo gran diferencia en el número promedio de semillas producidas por vaina en las dos condiciones de humedad, lo cual obedece en gran parte, a que esta característica es poco modificada por el ambiente; esta respuesta ya ha sido observada en otros trabajos de investigación sobre sequía en frijol (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989; López *et al.*, 2008). En este estudio, la cantidad de semillas producidas por vaina no se relacionó con el rendimiento de frijol, tanto en la condición de riego, como de sequía ( $r=0.22$  y  $0.3$  ns).

These materials introduced by CIAT and the Michigan State University are larger in grain size than the local type feature that is associated with increased seed weight (López *et al.*, 2012). From these lines, SCN-2 and SEN-56, also recorded the highest weights of seed in drought condition, which together with SEN-70, Jamapa Plus and NGO-07022 were the least affected genotypes in this character by water stress, with smaller reductions to 11%, while TLP-19-14729 and MBSF were the most affected, with reductions to 23% higher (Table 2). The highest average seed weight obtained with irrigation treatment, is attributed to irrigated plants are better able to translocate assimilates to the grain, which

**Cuadro 1. Efecto de dos condiciones de humedad en el número de vainas producidas por planta y de semillas por vaina de 25 genotipos de frijol. La Colonia Ejidal, municipio de Cotaxtla, Ver. Invierno-primavera 2013.**

**Table 1. Effect of two soils in the number of pods produced per plant and seeds per pod of 25 bean genotypes. La Colonia Ejido, Municipality Cotaxtla, Ver. Winter-Spring, 2013.**

Genotipo	Número de vainas por planta			Número de semillas por vaina		
	Riego	Sequía	Reducción (%)	Riego	Sequía	Reducción (%)
NGO-17-99	24.47 *	17 *	30.53	6.2 *	6 *	3.23
ELS-9-27	20.93	14.93	28.67	6.27 *	6.2 *	1.12
ELS-15-55	21.53 *	12.73	40.87	5.87 *	5.63 *	4.09
Jamapa Plus	21.27	15.87	25.39	6.3 *	5.87 *	6.82
NGO-07022	22.2 *	16.73	24.64	6.23 *	5.73 *	8.03
DOR-448	21.93 *	14.47	34.02	6.17 *	5.37	12.97
CIAT-103-25	24.8 *	17.53 *	29.31	6.4 *	6.17 *	3.59
SEQ-344-21	22.47 *	15.33	31.78	6.03 *	5.63 *	6.63
B-98311	18.6	13.6	26.88	5.13	4.73	7.8
MBSF-14729	19.2	13.87	27.76	5.13	4.63	9.75
SCN-2	22.87 *	18.2 *	20.42	5.97 *	5.1	14.57
SCN-3	20.33	13.93	31.48	6 *	5.8 *	3.33
SCN-4	23.53 *	15.73	33.15	6.13 *	5.83 *	4.89
SCN-6	22.33 *	16.93	24.18	5.57	5.27	5.39
SEN-26	20.33	14.67	27.84	5.53	5.47	1.08
SEN-56	22.73 *	16.93	25.52	5.53	5.03	9.04
SEN-70	24.2 *	19.2 *	20.66	5.77	5.33	7.63
NCB-229	22.53 *	19.87 *	11.81	5.8	5.33	8.1
TLP-19	22.6 *	13.73	39.25	6 *	5.4	10
X02-33-159-2	20.47	10.73	47.58	6.23 *	5.3	14.93
X02-33-153	24.47 *	18.47 *	24.52	6.3 *	6.1 *	3.17
X02-33-147-2	24.27 *	14	42.32	5.63	4.97	11.72
Negro INIFAP	20.67	13.47	34.83	6.17 *	5.97 *	3.24
Negro Tacaná	22.93 *	15.73	31.4	6.3 *	5.63 *	10.63
Negro Jamapa	21.27	13.6	36.06	5.93 *	5.63 *	5.06
Promedio	22.12	15.49	29.97	5.94	5.52	7.07
DMS (0.05)	3.29	2.92		0.57	0.6	

\*genotipos estadísticamente superiores, según la diferencia mínima significativa (0.05).

Las líneas SCN-2, SCN-6, SEN-56, B-98311 y MBSF-14729, obtuvieron los mayores pesos de 100 semillas en condiciones de riego, los cuales fueron superiores a los del

are under stringent conditions of humidity (Rao, 2001). The average reduction in seed weight caused by terminal drought stress was slightly higher than 16% (Abebe and Brick, 2003).



resto de los genotipos. Estos materiales introducidos del CIAT y la Universidad Estatal de Michigan, son de grano de mayor tamaño que el tipo tropical local, característica que está relacionada con un mayor peso de semilla (López *et al.*, 2012). De estas líneas, SCN-2 y SEN-56, también registraron los mayores pesos de semilla en la condición de sequía, las cuales junto con SEN-70, Jamapa Plus y NGO-07022, fueron los genotipos menos afectados en este carácter por el estrés hídrico, con reducciones menores a 11%, mientras que TLP-19 y MBSF-14729, fueron las más afectadas, con reducciones superiores a 23% (Cuadro 2). El mayor peso de semilla promedio obtenido con el tratamiento de riego, es atribuido a que las plantas irrigadas tienen mayor capacidad de translocar asimilados hacia el grano, que las que se encuentran en condiciones restrictivas de humedad (Rao, 2001). La reducción promedio en el peso de semilla provocada por el estrés hídrico terminal fue ligeramente superior a 16% (Abebe y Brick, 2003). Este componente no se relacionó con el rendimiento de grano en riego y sequía ( $r=0.188$  ns y  $0.392$  ns), debido principalmente a que hubo genotipos con diferentes pesos de 100 semillas, que obtuvieron rendimientos significativamente superiores o inferiores en ambas condiciones de humedad (Cuadro 2).

En condiciones de riego, 11 líneas y la variedad Negro Tacaná, se ubicaron en el grupo sobresaliente de rendimiento de grano, de las cuales: CIAT-103-25, NGO-17-99, SEN-70 y SCN-2 fueron las más productivas; estas cuatro líneas junto con NCB-229, X02-33-153 y SEN-56, fueron las más rendidoras bajo sequía (Cuadro 2). La producción de frijol bajo sequía está correlacionada positivamente con la que se obtiene con buena humedad, pues generalmente los genotipos que rinden bien con estrés hídrico, también lo hacen sin estrés (Szilagyi, 2003; Beebe *et al.*, 2008). De acuerdo al análisis combinado, el rendimiento también varió significativamente entre condiciones de humedad y genotipos ( $p \leq 0.01$ ), pero no en la interacción de ambos factores. Esto último indica, que todos los genotipos en mayor o menor magnitud disminuyeron su rendimiento de grano en condiciones de deficiencia de humedad (López *et al.*, 2011a). Con riego durante todo el ciclo se obtuvo un rendimiento promedio 58.6% mayor al obtenido con estrés de humedad. Un grupo de nueve genotipos resultó sobresaliente ( $p \leq 0.05$ ); de este grupo, las líneas CIAT-103-25, SCN-2, SEN-70 y NGO-17-99 fueron las de mayor rendimiento promedio (Cuadro 2).

This component was not related to grain yield in irrigation and drought ( $r=0.188$  ns and  $0.392$  ns), mainly because there were genotypes with different weights of 100 seeds, which obtained yields significantly higher or lower in both moisture conditions (Table 2).

Under irrigated conditions, 11 lines and the variety Negro Tacaná were located in the outstanding group of grain yield, of which: CIAT-103-25, NGO-17-99, SEN-70 and SCN-2 were the most productive, these four lines with CB N-229, X02-33-153 and SEN-56 were the most yielding under drought (Table 2). Bean production under drought is positively correlated with that obtained with good moisture, because usually genotypes perform well with water stress, so do not stress (Szilagyi, 2003; Beebe *et al.*, 2008.). According to the combined analysis, the yield also varied significantly between moisture conditions and genotypes ( $p \leq 0.01$ ), but not in the interaction of both factors. The latter indicates that all genotypes varying its magnitude decreased grain yield under conditions of moisture deficiency (López *et al.*, 2011 a). Irrigated throughout the cycle average yield was obtained 58.6% higher than that obtained with stress moisture. A group of nine genotypes was outstanding ( $p \leq 0.05$ ); of this group, the CIAT-103-25-2 SCN, NGO SEN-70-17-99 lines were the ones with larger average yield (Table 2).

Terminal drought caused decrease in yield of the genotypes, varying from 24.6 to 64.1%, still more severe in the X02-33-159-2-33 X02-147-2, B-98311, 14729 and MBSF-lines Negro Jamapa variety, which consequently had the highest rates of susceptibility to drought (ISS). Conversely, NCB-229 lines, SCN-2 Jamapa and SEN-70 Plus showed increased tolerance to drought stress terminal because it had the lowest yield loss, and thus, the index values of susceptibility closer to zero (Fisher and Maurer, 1978) (Table 2). This index is acceptable to select genotypes showing tolerance to this abiotic factor criteria, but not necessarily the most yielders (Rosales-Serna *et al.*, 2000), as occurred in this study, in which the four genotypes had the lowest ISS, the line Jamapa Plus showed no significant outstanding yield in drought condition. In the discrimination of genotypes is recommended the combined use of an index that relates to reduced yield, as the ISS and one with productivity between wet conditions, as the relative efficiency ratio (IER) (Graham, 1984; Rosales-Serna *et al.*, 2000).

**Cuadro 2. Peso de 100 semillas y rendimiento de grano de 25 genotipos de frijol en dos condiciones de humedad y estimadores de susceptibilidad a sequía y de eficiencia del rendimiento. La Colonia Ejidal, municipio de Cotaxtla, Veracruz. Invierno-primavera 2013.**

**Table 2. 100-seed weight and grain yield of 25 bean genotypes under two conditions of humidity and drought susceptibility estimators and yield efficiency. La Colonia Ejido, Municipality Cotaxtla, Veracruz. Winter-Spring, 2013.**

Genotipo	Peso de 100 semillas (g)			Rendimiento de grano (kg ha <sup>-1</sup> )				ISS <sup>†</sup>	IER <sup>††</sup>
	Riego	Sequía	Reducción (%)	Riego	Sequía	Promedio	Reducción (%)		
NGO-17-99	23.33	19.33	17.14	2194.33 *	1329.67 *	1762 *	39.4	0.95	1.41
ELS-9-27	21	18	14.29	1680.67	1091.33	1386	35.07	0.85	0.88
ELS-15-55	20.33	16.67	18	1668.67	915.67	1292.17	45.13	1.09	0.74
Jamapa Plus	19.33	17.33	10.35	1686	1150	1418	31.79	0.77	0.93
NGO-07022	22	19.67	10.59	1855.67	1214.33	1535	34.56	0.83	1.09
DOR-448	21.67	17.33	20.03	1763	976.67	1369.83	44.6	1.08	0.83
CIAT-103-25	22.33	19	14.91	2227.67 *	1365.67 *	1796.67 *	38.69	0.93	1.47
SEQ-344-21	20	16.67	16.65	1799	1058	1428.5	41.19	0.99	0.92
B-98311	26 *	20.67	20.5	1647.33	790.67	1219	52	1.26	0.63
MBSF-14729	25.33 *	19.33	23.69	1660.33	850.67	1255.5	48.76	1.18	0.68
SCN-2	26.67 *	24 *	10.01	2103.67 *	1443.67 *	1773.67 *	31.37	0.76	1.46
SCN-3	24	19.33	19.46	1780.67	1024.67	1402.67	42.46	1.03	0.88
SCN-4	21.33	17.33	18.75	1979.67 *	1123	1551.33	43.27	1.04	1.07
SCN-6	26 *	20.67	20.5	2041.67 *	1192.33	1617 *	41.6	1	1.17
SEN-26	24	21.33	11.12	1670.33	1097	1383.67	34.32	0.83	0.88
SEN-56	26 *	23.33 *	10.27	2040.67 *	1245.33 *	1643 *	38.97	0.94	1.22
SEN-70	24	22	8.33	2118.67 *	1420.33 *	1769.5 *	32.96	0.8	1.45
NCB-229	24.67	21.33	13.54	1936 *	1460.33 *	1698.17 *	24.57	0.59	1.36
TLP-19	22	16.67	24.23	1878 *	982.33	1430.17	47.69	1.15	0.89
X02-33-159-2	24	20	16.67	1805.67	649	1227.33	64.06	1.55	0.56
X02-33-153	19.67	16.67	15.25	2016.67 *	1279.33 *	1648 *	36.56	0.88	1.24
X02-33-147-2	21.33	18	15.61	2068.33 *	861.33	1464.83	58.36	1.41	0.86
Negro INIFAP	22	18	18.18	1710.33	961	1335.67	43.81	1.06	0.79
Negro Tacaná	20.33	16.67	18	1984.33 *	1192.33	1588.33 *	39.91	0.96	1.14
Negro Jamapa	21	17.33	17.48	1672	866.67	1269.33	48.17	1.16	0.7
Promedio	22.73	19.07	16.1	1879.57 *	1101.65	1490.61	41.39	1	1
DMS (0.05)	1.55	1.91		383.69	242.27	239.63			

\* Genotipos estadísticamente superiores, según la diferencia mínima significativa (0.05). † Índice de susceptibilidad a sequía. †† Índice de eficiencia relativa.

La sequía terminal provocó reducciones del rendimiento de los genotipos que variaron de 24.6 a 64.1%, siendo más severas en las líneas X02-33-159-2, X02-33-147-2, B-98311, MBSF-14729 y la variedad Negro Jamapa, las que en consecuencia presentaron los más altos índices de susceptibilidad a sequía (ISS). Por el contrario, las líneas NCB-229, SCN-2, Jamapa Plus y SEN-70 mostraron la mayor tolerancia al estrés hídrico terminal, debido a que presentaron las menores reducciones de rendimiento, y por lo tanto, los valores de índice de susceptibilidad más cercanos a cero (Fisher y Maurer, 1978) (Cuadro 2). Este índice es un criterio aceptable para seleccionar genotipos que muestren tolerancia a este factor abiótico, aunque no necesariamente son los más rendidores (Rosales-Serna *et al.*, 2000), tal como ocurrió en este estudio,

It is noteworthy that, during the crop cycle prevailed med monthly temperature between 22 and 27 °C and occurred total rainfall of 71.5 mm, of which there was only a shower of 18.5 mm, when the vast majority of the genotypes were in bloom and rainfall did not occur subsequently to amend the condition of drought; this climatic behaviour is common in the locality and referred agricultural cycle (Díaz *et al.*, 2006). In this study an average yield reduction of 777.9 kg ha<sup>-1</sup> for water stress terminal, whose index of drought intensity was 0.41.

Figure 1 illustrates that in both trials, the bean crop was maintained with adequate soil moisture, with changes to the beginning of flowering; however, to suspend irrigation at

en el que de los cuatro genotipos que presentaron los ISS más bajos, la línea Jamapa Plus no mostró un rendimiento significativamente sobresaliente en la condición de sequía. En la discriminación de genotipos es recomendable la utilización combinada de un índice que se relacione con la reducción del rendimiento, como el ISS y otro con la productividad entre condiciones de humedad, como el índice de eficiencia relativa (IER) (Graham, 1984; Rosales-Serna *et al.*, 2000).

Cabe señalar, que durante el ciclo del cultivo prevaleció una temperatura media mensual de entre 22 y 27 °C y ocurrió una precipitación pluvial total de 71.5 mm, de los cuales solamente hubo una lluvia de 18.5 mm, cuando la gran mayoría de los genotipos se encontraban en floración y posteriormente no ocurrieron precipitaciones pluviales que modificaran la condición de sequía; este comportamiento climático es común en la localidad y ciclo agrícola referidos (Díaz *et al.*, 2006). En este estudio se tuvo una reducción promedio del rendimiento de 777.9 kg ha<sup>-1</sup> por el estrés hídrico terminal, cuyo índice de intensidad a la sequía fue de 0.41.

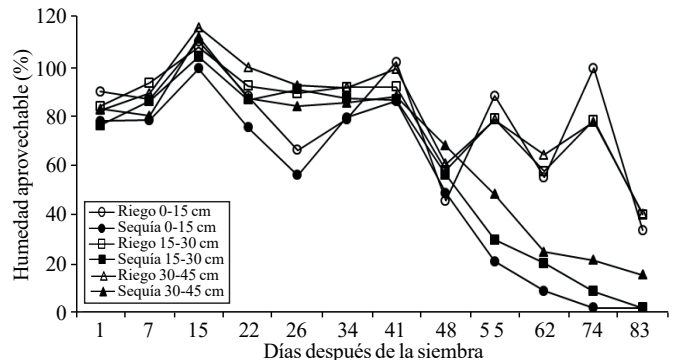
En la Figura 1 se muestra que en ambos ensayos, el cultivo de frijol se mantuvo con humedad aprovechable adecuada, con cambios mínimos hasta el inicio de floración; sin embargo, al suspender los riegos a los 37 días después de la siembra en el ensayo de sequía, ocurrió un descenso paulatino de la humedad aprovechable hasta la etapa terminal del cultivo. La humedad aprovechable promedio de los tres estratos (0-45 cm) desde la siembra hasta inicio de floración fue 92.1% en el ensayo de riego y de 84.9% en el de sequía, mientras que en la etapa terminal del cultivo, el promedio de humedad aprovechable en el ensayo de riego fue de 69.4% y 37.4% en el ensayo de sequía. Esto demuestra que los genotipos evaluados en el ensayo de riego se desarrollaron sin estrés de humedad, mientras que los del ensayo de sequía sufrieron estrés hídrico terminal.

Las líneas CIAT-103-25, SCN-2, SEN-70, NGO-17-99 y NCB-229 presentaron los más altos valores de los IER, que indican alto rendimiento de grano en las dos condiciones de humedad estudiadas, mientras que X02-33-159-2, B-98311, MBSF-14729 y Negro Jamapa, fueron los genotipos que mostraron la menor eficiencia de rendimiento (Cuadro 2).

## Conclusiones

Con base en el Índice de susceptibilidad a sequía se concluye que NCB-229, SCN-2, Jamapa Plus y SEN-70 fueron los genotipos más resistentes a la sequía

37 days after sowing in the trial of drought, there was a gradual decrease in available moisture to the terminal stage of the crop. The average soil moisture of the three layers (0-45 cm) of the planting to flowering initiation was 92.1% in the test irrigation and 84.9% in the dry season, while in the terminal stage of the crop, the average of available moisture in the irrigated test was 69.4% and 37.4% in the trial of drought. This shows that in the test genotypes grew without irrigation moisture stress, while in the evaluations of drought they did suffer terminal water stress.



**Figura 1. Humedad aprovechable del suelo durante el desarrollo del cultivo de frijol, en ensayos de riego sequía.**

**Figure 1. Usable soil moisture during development of bean cultivation in drought irrigation trials.**

The CIAT-103-25, SCN-2-70 SEN, NGO-17-99 and NCB-229 lines showed the highest values of IER, which indicate high grain yield in the two conditions studied of moisture, while X02-33-159-2, B-98311, MBSF-14729 and Negro Jamapa were the genotypes that showed the lowest yield efficiency (Table 2).

## Conclusions

Based on the Drought Susceptibility Index, it is concluded that NCB-229, SCN-2, Jamapa Plus and SEN-70 were the most resistant genotypes to terminal drought, while X02-33-159-2 X02-33-147-2, B-98311, MBSF-14729 and Negro Jamapa were the most susceptible.

The CIAT-103-25, SCN 2 SEN 70, NGO 17-99 and NCB 229 genotypes showed the highest efficiency in grain yield under both conditions, irrigation and terminal drought. Plants of these genotypes produced a number of pods significantly higher in both moisture conditions, a feature that was associated positively with higher grain yield.

*End of the English version*



terminal, en tanto que X02-33-159-2, X02-33-147-2, B-98311, MBSF-14729 y Negro Jamapa fueron los más susceptibles.

Los genotipos CIAT-103-25, SCN 2, SEN 70, NGO 17-99 y NCB 229, mostraron la mayor eficiencia en el rendimiento de grano bajo ambas condiciones, riego y sequía terminal. Las plantas de estos genotipos produjeron una cantidad de vainas significativamente superior en ambas condiciones de humedad, característica que se asoció en forma positiva con un mayor rendimiento de grano.

## Literatura citada

- Abebe, A. S. and Brick, M. A. 2003. Traits associated with dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) productivity under diverse soil moisture environments. *Euphytica*. 133:339-347.
- Acosta-Gallegos, J. A. and Kohashi-Shibata, J. 1989. Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry-bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. *Field Crop Res.* 20:81-93.
- Acosta-Díaz, E.; Acosta-Gallegos, J. A.; Trejo-López, C.; Padilla-Ramírez, J. S. y Amador-Ramírez, M. D. 2009. Adaptation traits in dry bean cultivars grown under drought stress. *Agric. Téc. Méx.* 35(4):416-425.
- Acosta-Díaz, E.; Trejo-López, C.; Ruíz-Posadas, L. del M.; Padilla-Ramírez, J. S. y Acosta-Gallegos, J. A. 2004. Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva. *Terra Latinoamericana* 22(1):49-58.
- Acosta, G. J. A.; Acosta, E.; Padilla, S.; Goytia, M. A.; Rosales, R. y López, E. 1999. Mejoramiento de la resistencia a la sequía del frijol común en México. *Agron. Mesoam.* 10(1):83-90.
- Acosta-Gallegos, J. A.; Acosta-Díaz, E.; Padilla-Ramírez, S.; López-Salinas, E.; Salinas-Pérez, R. A.; Mayek-Pérez, N. y Kelly, J. D. 1998. Seed yield of dry bean cultivars under drought stress. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 41:151-152.
- Adams, M. W. 1967. Basis of yield component compensation in crop plants with special reference to the field bean, *Phaseolus vulgaris*. *Crop Sci.* 7:505-510.
- Aguilera, C. M. y Martínez, E. R. 1980. Relaciones agua suelo planta atmósfera. 2a. ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 321 p.
- Beebe, S.; Rao, I.; Cajao, C. y Grajales, M. 2008. Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. *Crop Sci.* 48:582-592.
- Castañeda, S. M. C.; Córdova, T. L.; González, H. V. A.; Delgado, A. A.; Santacruz, V. A. Q. y García, de los S. G. 2006. Respuestas fisiológicas, rendimiento y calidad de semilla en frijol sometido a estrés hídrico. *Interciencia.* 31(6):461-466.
- Díaz, P. G.; Ruiz, C. J. A.; Cano, G. M. A.; Serrano, A. V. y Medina, G. G. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Veracruz (periodo 1961-2003). SAGARPA-INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. Libro técnico Núm. 13. 292 p.
- Fisher, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29:897-912.
- Frahm, M.; Rosas, J. C.; Mayek, N.; López, E.; Acosta, J. A. y Kelly, J. D. 2003. Resistencia a sequía terminal en frijol negro tropical. *Agron. Mesoam.* 14(2):143-150.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª (Ed.) UNAM. México, D. F. 130 p.
- Ghassemi-Golezani, K. and Mardfar, R. A. 2008. Effects of limited irrigation and grain yield of common bean. *J. Plant Sci.* 3(3):230-235.
- Graham, R. D. 1984. Breeding for nutritional characteristics in cereals. *Adv. Plant Nutr.* 1:57-102.
- Little, M. T. and Hills, F. J. 1998. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. 2ª (ed.) Trillas. México, D. F. 270 p.
- 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. 45 p.
- López, E.; Becerra, N.; Cano, O.; Ortega, D. y Acosta, J. 1996. Adaptación y calidad tecnológica de la variedad de frijol Negro Tacaná. *Agron. Mesoam.* 7(1):26-34.
- López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Acosta, G. J. A.; Villar, S. B. and Ugalde, A. F. J. 2011a. Drought resistance of tropical dry black bean lines and cultivars. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14(2):749-755.
- López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Rodríguez, R. R. y Villar, S. B. 2012. Informe técnico anual de actividades de mejoramiento genético de frijol negro opaco Mesoamericano en Veracruz y Chiapas. Proyecto desarrollo de variedades de frijol de alto rendimiento, tolerantes a sequía, resistentes a patógenos y con la calidad que demanda el consumidor. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín de Bravo, Veracruz. 12 p.
- López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Ugalde, A. F. J. y Acosta, G. J. A. 2008. Rendimiento y tolerancia a sequía de genotipos de frijol negro en el estado de Veracruz. *Rev. Fitotec. Mex.* 31:35-39.
- López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Villar, S. B.; Rodríguez, R. J. R.; Ugalde, A. F. J. y Acosta, G. J. A. 2011b. Negro Comapa nueva variedad de frijol para el estado de Veracruz. SAGARPA-INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín de Bravo, Ver., México. Folleto técnico Núm. 55. 24 p.
- López, S. E.; Villar, S. B. y Cano, R. O. 1994. Rendimiento y adaptación del frijol negro E-44 en el trópico húmedo de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 17:39-47.
- Manjeru, P.; Madanzi, T.; Makedza, B.; Nciizah, A. and Sithole, M. 2007. Effect of water stress at different growth stages on components and grain yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Afr. Crop Sci. Conference Proceedings.* 8:299-303.
- Muñoz-Perea, G.; Terán, H.; Allen, R.; Wright, J.; Westermann, D. and Singh, S. P. 2006. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Sci.* 46:2111-2120.
- Nuñez-Barríos, A.; Hoogenboom, G. and Scott, D. 2005. Drought stress and the distribution of vegetative and reproductive traits of a bean cultivar. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. 62(1):18-22.
- Rao, I. M. 2001. Role of physiology in improving crop adaptation to abiotic stresses in the tropics: The case of common bean and tropical forages. *In: Pessaraki, M. (Ed.). Handbook of plant and crop physiology.* Marcel Dekker, Inc., New York, USA. 583-613 pp.
- Rosales-Serna, R.; Ramírez-Vallejo, P.; Acosta-Gallegos, J. A.; Castillo-González, F. y Kelly, J. D. 2000. Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del frijol común en condiciones de campo. *Agrociencia.* 34:153-165.

- Schneider, K. A.; Rosales-Serna, R.; Ibarra-Pérez, F.; Cazares-Enriquez, B.; Acosta-Gallegos, J. A.; Ramírez-Vallejo, P.; Wassmi, N. and Kelly, J. D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Sci.* 37:43-50.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2012. Anuarios estadísticos de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México, D. F. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Singh, S. P.; Gepts, P. and Debouck, D. G. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Econ. Bot.* 45:379-396.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 1989. SAS/STAT user's guide. Version 6.01. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 479 p.
- Szilagyi, L. 2003. Influence of drought on seed yield components in common bean. *Bulg. J. Plant Physiol.* 320-330.
- Terán, H. and Singh, S. P. 2002a. Comparison of sources and lines selected for drought resistance in common bean. *Crop Sci.* 42:64-70.
- Terán, H. and Singh, S. P. 2002b. Selection for drought resistance in early generations of common bean populations. *Can. J. Plant Sci.* 82:491-497.