

Rendimiento de genotipos de frijol con diferentes métodos de siembra y riego-sequía en Aguascalientes*

Yield of bean genotypes with different sowing, irrigation-drought methods in Aguascalientes

Esteban Salvador Osuna-Ceja¹, Luis Reyes-Muro^{1§}, José Saúl Padilla-Ramírez¹, Rigoberto Rosales-Serna², Miguel A. Martínez-Gamiño³, Jorge A. Acosta-Gallegos⁴ y Benjamín Figueroa-Sandoval⁵

¹Campo Experimental Pabellón- INIFAP, km 32.5 carretera Aguascalientes-Zacatecas, C. P. 20660, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. Tel. 01 465 95 8 01 86. (osuna.salvador@inifap.gob.mx; reyes.luis@inifap.gob.mx; jsaulp@yahoo.com). ²Campo Experimental Valle del Guadiana, INIFAP. Carretera Durango-Mezquital, km 5. Durango, Durango. Tel. 01 618 826 04 26. (rosales.rigoberto@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental San Luis, INIFAP, Domicilio conocido, Ejido Palma de La Cruz, C. Soledad de Graciano Sánchez, C. P. 78431. San Luis Potosí, S. L. P. Tel. 01 444 85 2 43 03. (martinez.miguelangel@inifap.gob.mx). ⁴Campo Experimental Bajío, INIFAP, km 6.5 carretera Celaya-San Miguel de Allende, Celaya. Guanajuato. Tel. 01 461 61153 23. (acosta.jorge@inifap.gob.mx). ⁵Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí, Agustín de Iturbide, No. 73, Salinas de Hidalgo, Salinas, S. L. P. 78622. Tel. 01 496 963 02 40. (figueroa@colpos.mx). [§]Autor para correspondencia: reyes.luis@inifap.gob.mx.

Resumen

En México, el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se produce principalmente en ambientes con temporal deficiente donde la sequía causa bajos rendimientos de grano. Se evaluó el rendimiento de grano de diez genotipos de frijol bajo tres métodos de siembra y número de plantas por hectárea: a) surco a 0.76 m en hilera sencilla (90 mil pl ha⁻¹); b) camas en 1.52 m con tres hileras (145 mil pl ha⁻¹); y c) camas de 1.52 m con seis hileras (260 mil pl ha⁻¹) y dos condiciones de humedad: Temporal (T) y Temporal más dos riegos suplementarios (T+RS) aplicados en la etapa reproductiva. Los materiales utilizados fueron: tipo Pinto (Centauro, Libertad, Centenario, Saltillo, Bravo y Coloso); Flor de Mayo (Bajío, Dolores y Eugenia) y Azufrado. Los experimentos se establecieron en Pabellón y Sandoval, Aguascalientes; la siembra fue el 31 de julio y el 1 de agosto de 2012. Se estimó el índice de susceptibilidad a sequía (ISS) entre ambas condiciones de humedad. Los métodos de siembra afectaron significativamente ($p < 0.01$) el rendimiento de grano en ambas condiciones de humedad, siendo más alto con la siembra a seis hileras, luego con tres y por último la siembra a hilera sencilla con rendimientos de 2.94, 2.18 y 1.72 t ha⁻¹

Abstract

In Mexico, beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are grown mainly in poor rainfed environments, where drought cause low grain yields. We evaluated grain yield of ten bean genotypes under three planting methods and number of plants per hectare: a) furrow at 0.76 m in a single row (90 000 pl ha⁻¹); b) beds in 1.52 m with three rows (145 000 pl ha⁻¹) and; c) beds of 1.52 m with six rows (260 000 pl ha⁻¹) and two humidity conditions: Rainfed (T) and Rainfed plus two supplementary irrigations (T+RS) applied in the reproductive phase. The materials used were: type Pinto (Centauro, Libertad, Centenario, Saltillo, Bravo and Coloso); Flor de Mayo (Guanajuato, Dolores and Eugenia) and; Azufrado. The experiment was located in Pavilion and Sandoval, Aguascalientes; sowing was on July 31th and August 1th, 2012. The drought susceptibility index (ISS) was estimated between both humidity conditions. Sowing methods significantly ($p < 0.01$) affected the yield in both humidity conditions, being the highest with six rows, followed by the one with three rows and finally the single row, with yields of 2.94, 2.18 and 1.72 t ha⁻¹ for T + RS and 1.14, 0.93 and 0.71 t ha⁻¹ for T, respectively. The response of the genotypes was significant

* Recibido: enero de 2013
Aceptado: junio de 2013

para T+RS y 1.14, 0.93 y 0.71 t ha⁻¹ para T, respectivamente. La respuesta de los genotipos fue significativa ($p < 0.01$), sobresaliendo Pinto Centauro y Libertad (2.70 y 2.65 t ha⁻¹) en T+RS y Pinto Saltillo (1.06 t ha⁻¹) en T, respectivamente. Con base en la reducción del rendimiento y el ISS, todos los genotipos resultaron moderadamente tolerantes a sequía.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., densidad de plantas, resistencia a la sequía, rendimiento.

Introducción

En México, el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el de maíz, representa una tradición cultural, productiva y de consumo, cumpliendo diversas funciones alimentarias y socioeconómicas que le han permitido trascender hasta la actualidad (Celis-Velázquez *et al.*, 2010; Aguilar-Benítez *et al.*, 2012). La producción de este cultivo es afectada por la sequía, ya que alrededor de 85% de la superficie sembrada en México se ubica en zonas semiáridas con régimen de temporal deficiente, períodos frecuentes de sequía intermitentes o terminal (Acosta-Díaz *et al.*, 2003; Padilla *et al.*, 2011), suelos delgados y degradados, bajo contenido de materia orgánica y capacidad limitada para retener humedad (Rosales-Serna *et al.*, 2000; Osuna *et al.*, 2007). En condiciones de riego se obtienen los más altos rendimientos (Padilla *et al.*, 2011).

El déficit hídrico en la fase reproductiva en frijol y otras leguminosas como el garbanzo *Cicer arietinum* L., haba *Vicia faba* L. y soya *Glycine max* L., disminuye el rendimiento en mayor proporción que cuando sólo afecta la fase vegetativa (Acosta-Díaz *et al.*, 2003; Padilla *et al.*, 2008). Dependiendo de la intensidad del estrés hídrico y la tolerancia del cultivar, se estima que durante las etapas de floración, formación de vaina y llenado de grano, el número de vainas y el rendimiento disminuye hasta en 50 y 72% (Liu *et al.*, 2004; Ghassemi-Golezani *et al.*, 2009; Fang *et al.*, 2010; Padilla *et al.*, 2011; Aguilar-Benítez *et al.*, 2012).

Para disminuir los riesgos por sequía existen estrategias, tanto genéticas como de manejo agronómico de cultivo (Osuna *et al.*, 2007; Acosta, 2008). Ambas pueden estabilizar las diferencias entre cultivares e incrementar el rendimiento de frijol bajo restricción de humedad, en parte mediante la identificación de genotipos, cuya diferencia en rendimiento de grano con riego sea mínima respecto a la condición de secano (Rosales-Serna *et al.*, 2000). Sin embargo, la complejidad de

($p < 0.01$), outstanding Pinto Centauro and Libertad (2.70 and 2.65 t ha⁻¹) with T+RS and Pinto Saltillo (1.06 t ha⁻¹) in T, respectively. Based on the yield reduction and ISS, all genotypes were moderately drought tolerant.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., plant density, drought resistance, yield.

Introduction

In Mexico, the cultivation of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and maize represents a cultural, productive and consumerist tradition, serving several alimentary and socio-economic functions that have allowed them to transcend into our present (Celis-Velázquez *et al.* 2010; Aguilar-Benítez *et al.*, 2012). The production of this crop is affected by drought considering that about 85% of the area sown in Mexico is located in semi-arid areas with poor rainfed regime, frequent periods of drought, intermittent or terminal (Acosta-Díaz *et al.*, 2003; Padilla *et al.*, 2011), in thin and degraded soils, with low organic matter content and a limited capacity to retain moisture (Rosales-Serna *et al.*, 2000; Osuna *et al.*, 2007). The highest yields are obtained in irrigated conditions (Padilla *et al.*, 2011).

The water deficit in the reproductive phase in beans and other legumes, such as chickpeas (*Cicer arietinum* L.), broad beans (*Vicia faba* L.) and soy (*Glycine max* L.), decreases their yield in a higher extent than when only affects the vegetative phase (Acosta-Díaz *et al.*, 2003; Padilla *et al.*, 2008). Depending on the intensity of water stress and cultivate tolerance, it is estimated that during the stages of flowering, pod formation and grain filling, the number of pods and yield decreases by up to 50 and 72% (Liu *et al.* 2004; Ghassemi-Golezani *et al.*, 2009; Fang *et al.*, 2010; Padilla *et al.*, 2011; Aguilar-Benítez *et al.*, 2012).

For reducing drought risks, there are genetic and agronomic crop management strategies (Osuna *et al.*, 2007; Acosta, 2008). Both can help to stabilize the differences between cultivars and increase bean yield under humidity restriction, partially by identifying genotypes, whose difference in grain yield under irrigation is minimal, compared to the dry condition (Rosales-Serna *et al.* 2000). However, the complexity of phenotypic responses to water deficit makes breeding quite difficult for drought tolerance. The evaluation of genotypes with common genetics and contrasting

las respuestas fenotípicas al déficit de humedad dificulta el mejoramiento para la tolerancia a la sequía. La evaluación de genotipos con origen genético común y respuestas contrastantes al estrés por sequía ha permitido identificar cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos propios de la especie y contrastantes entre genotipos (Acosta *et al.*, 1996; Rincón y Cabrera, 1997; Peña-Valdivia *et al.*, 2005).

La selección de genotipos de frijol por adaptación a déficits temporales de humedad ha permitido elevar el potencial productivo y la calidad de los materiales (Acosta *et al.*, 2004; Padilla *et al.*, 2008), pero las prácticas de manejo de cultivo han logrado más producción, cuando el cultivo con frecuencia enfrenta sequía terminal, sobre todo en suelos con baja capacidad para almacenar humedad (Osuna *et al.*, 2007). El manejo agronómico del cultivo, por ejemplo, disminuir la distancia entre surcos, aumentar la densidad de plantas y captar agua de lluvia "*in situ*", permite hacer un uso eficiente de factores limitativos, como la disponibilidad de agua en el suelo.

Las altas densidades de población y los arreglos espaciales de plantas que tienden a la equidistancia, tienen potencial para incrementar el rendimiento de frijol, lo cual se atribuye a una mayor intercepción y eficiencia del uso de la radiación solar (Hiebsch, *et al.*, 1995; Uresti, 2000; Osuna *et al.*, 2012). La variedad, el manejo del cultivo y su interacción son dos factores que inciden y determinan el rendimiento y algunas características agronómicas en un ambiente deficiente de humedad.

La generación y utilización de genotipos compactos, de crecimiento reducido y bajo índice de área foliar, cuando se acompaña de prácticas agronómicas para optimizar el uso del agua de lluvia y evitar la erosión del suelo (problemas que no pueden resolverse con el mejoramiento genético) han contribuido en años recientes a elevar la producción en el Altiplano semiárido del norte-centro de México (González-Ramírez, 2004; Osuna *et al.*, 2007; Osuna *et al.*, 2012). El objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento de grano de diez genotipos de frijol de diferente desarrollo, bajo diferentes métodos de siembra, número de plantas por hectárea y dos condiciones de humedad del suelo.

Materiales y métodos

Este trabajo se realizó el verano de 2012, en los Campos Experimentales de Pabellón y Sandoval, Aguascalientes; localizados a 22° 11' latitud norte y 102° 20' longitud oeste

responses to drought stress has helped to identified morphological, physiological and biochemical traits changes, regular on these species and distinctive between genotypes (Acosta *et al.*, 1996; Rincón and Cabrera, 1997; Peña-Valdivia *et al.*, 2005).

The selection of bean genotypes by adaptation levels of rainfed moisture deficits has helped raising the productive potential and quality of materials (Acosta *et al.*, 2004; Padilla *et al.*, 2008) however the crop management practices have achieved more production, when the crop often faces terminal drought, especially in soils with low moisture storage capacity (Osuna *et al.*, 2007). The agronomic crop management, for example, decreasing the distance between rows, increasing the plant density and gathering rainwater "*in situ*", can help to make an efficient use of limiting factors, such as the availability of water in the soil.

High population densities and spatial arrangements of plants that tend to commensurate have the potential to increase the yield of beans, which is attributed to an increased interception and efficient use of solar radiation (Hiebsch, *et al.*, 1995; Uresti, 2000; Osuna *et al.*, 2012). The variety, crop management and interaction are two factors that influence and determine the yield and some agronomic traits in humidity-deficient environments.

The generation and use of small genotypes, of reduced growth and low leaf area index, when accompanied by agronomic practices to optimize the use of rain water and prevent soil erosion (problems that cannot be solved with genetic improvement) have contributed in recent years to increase production in the semiarid highlands of north-central Mexico (González-Ramírez, 2004; Osuna *et al.*, 2007; Osuna *et al.*, 2012). The aim of this study was to evaluate the grain yield of ten different genotypes of bean development under different sowing methods, number of plants per hectare and two soil humidity conditions.

Materials and methods

This work was conducted in the summer of 2012, at the Experimental Fields of Pabellón and Sandoval, Aguascalientes; located at 22° 11' North latitude, 102° 20' West longitude and 22° 09' North latitude and 102°

y 22° 09' latitud norte y 102° 17' longitud oeste, a 1 912 y 2 000 msnm, respectivamente. Los suelos de los sitios experimentales son de tipo Calcisol y Planosol, de textura migajón-arenoso y arcillo-arenosa, con pH alcalino (7.9) y moderadamente ácido (6.2), con menos de 1% de materia orgánica. El clima predominante en ambos sitios, es semidesértico con lluvias en verano (200 a 250 mm en el ciclo de cultivo), la temperatura media anual es de 16.2°C, la media anual máxima es de 20°C y la mínima es de 7.1°C (Medina *et al.*, 2006). Bajo éstas condiciones de suelo y clima se evaluaron dos niveles de humedad en el suelo: a) temporal mas riego suplementario (T+RS), en éste, el contenido de humedad en el suelo se mantuvo en condiciones óptimas (aproximadamente al 70% de la capacidad de campo) durante todo el ciclo de cultivo con la aportación pluvial y dos riegos de auxilio de 5 cm cada uno, aplicados considerando la humedad del suelo a los 45 y 60 días después de la siembra y b) temporal (T), en el que la humedad aportada al suelo dependió completamente de la precipitación pluvial. En ambas condiciones, la siembra se realizó el 31 de julio y el 01 de agosto de 2012, en tierra húmeda con la precipitación ocurrida.

Se evaluaron diez genotipos de frijol de diferente desarrollo y precocidad: Pinto Centauro, Pinto Libertad, Pinto Centenario, Pinto Saltillo, Pinto Bravo, Pinto Coloso, genotipos precoces de desarrollo modesto y reducida área foliar por planta; Flor de Mayo Bajío, Flor de Mayo Dolores, Flor de Mayo Eugenia y Azufrado-2, genotipos intermedios y de buen desarrollo, muestran mayor área foliar por planta. Todos los materiales son provenientes del Programa de Mejoramiento Genético de Frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Los métodos de siembra evaluados en ambos experimentos fueron: a) surcos de 0.76 m en hilera sencilla y una densidad de 90 mil plantas ha⁻¹; b) camas de 1.52 m con tres hileras con una densidad de 145 mil plantas ha⁻¹; y c) camas de 1.52 m con seis hileras con densidad de 260 mil plantas ha⁻¹. En los casos con más de una hilera por surco, la separación entre éstas fue de 40 cm para la siembra de triple hilera y 20 cm para la de seis hileras, respectivamente. La unidad experimental consistió de: 4, 6 y 12 hileras de 30 m de longitud por genotipo para siembra sencilla, tres y seis hileras. La semilla de los genotipos fueron inoculadas al momento de la siembra con la cepa del INIFAP (*Glomus intraradices*), a dosis de 350 g ha⁻¹ de sustrato micorrízicos. Además, se realizó una aplicación de fertilización foliar durante el llenado de grano, con ácido fosfórico y urea al 1 y 2%, respectivamente. El fertilizante se preparó como sigue: se disolvieron 12 kg de

17' West longitude, at an elevation of 1912 and 2000 m, respectively. The soils of the experimental sites are Calcisol and Planosol, of sandy-loam, and sandy-clay texture, with alkaline pH (7.9) and moderately acidic (6.2), with less than 1% of organic matter. The climate at both sites is semi-desert with summer rains (200-250 mm in the growing season), the average annual temperature is 16.2 °C, the average maximum is 20 °C and the minimum is 7.1 °C (Medina *et al.*, 2006). Under these conditions of soil and climate, we evaluated two levels of humidity in the soil: a) rainfed plus supplemental irrigation temporal (T+RS), in this case, the moisture content in the soil was maintained in optimal conditions (approximately 70% of the field capacity) throughout the growing season with rainfall input and two irrigations of 5 cm each, applied considering the soil moisture at 45 and 60 days after sowing; b) rainfed (T), in which the soil moisture depended entirely on the rainfall. In both conditions, the trial was established on July 31th and August 1th, 2012, in wet soil with the occurred precipitation.

We evaluated ten genotypes of beans with different development and precocity: Pinto Centauro, Pinto Libertad, Pinto Centenario, Pinto Saltillo, Pinto Bravo, Pinto Coloso, early genotypes of modest growth and reduced leaf-area per plant, Flor de Mayo Bajío, Flor de Mayo Dolores, Flor de Mayo Eugenia and Azufrado-2, intermediate genotypes and good growth, showing a larger leaf-area per plant. All the materials used in this research come from the Genetic Breeding Program of the National Research Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP).

The evaluated sowing methods in both experiments were: a) furrow at 0.76 m in a single row (90 000 pl ha⁻¹), b) beds in 1.52 m with three rows (145,000 pl ha⁻¹) and c) beds of 1.52 m with six rows (260 000 pl ha⁻¹). In cases with more than one row per furrow, the spacing between them was 40 cm for sowing three rows and 20 cm for the six-row, respectively. The experimental unit consisted of: 4, 6 and 12 rows of 30 m length by simple seed genotype, three and six rows. The seeds of the genotypes were inoculated at the planting time with INIFAP strain (*Glomus intraradices*), at a dose of 350 g ha⁻¹ of mycorrhizal substrate. Furthermore, there was a foliar application during grain filling, with phosphoric acid and urea at 1 and 2%, respectively. The fertilizer was prepared as follows: 12 kg of dissolved urea and 6 L of phosphoric acid in 600 L of water, 0.2 L more adherent. The solution applied to the sheets equivalent to 5.5 kg of N and 4.5 kg P per hectare.

urea y 6 L de ácido fosfórico en 600 L de agua, mas 0.2 L de adherente. La solución aplicada a las hojas equivale a 5.5 kg de N y 4.5 kg de P por hectárea.

El terreno se preparó en ambos experimentos con un paso de multiarado para romper el suelo sin invertirlo y se rastreó antes de la siembra. La siembra se realizó con un prototipo experimental de sembradora mecánica diseñada en el Programa de Mecanización del Campo Experimental Pabellón, Aguascalientes. Con dicha sembradora se establecieron los métodos a diferente distanciamiento entre surcos en ambas condiciones de humedad. Se depositó una semilla cada 14 cm en todos los casos para establecer las densidades de población consideradas en el estudio.

Con el propósito de lograr la mayor distribución y captación *in situ* del agua de lluvia disponible para el cultivo y la disminución de los escurrimientos superficiales, en el experimento de temporal, se implementaron las prácticas del rodillo "aqueel" y el "pileteo"; dichas prácticas son descritas por Osuna *et al.* (2012).

Durante el ciclo de cultivo se cuantificaron las características fenológicas: número de días a la floración y a la madurez fisiológica. A la cosecha, se cuantificó el número de vainas por planta (promedio de 10 plantas tomadas al azar dentro de las hileras centrales y métodos de siembra) y el peso de 100 semillas. El número de plantas m^{-2} se determinó dividiendo el número de plantas presentes en las hileras cosechadas entre el área correspondiente. Todas las variables de planta se registraron en cinco segmentos de surco de 2 m de longitud tomados al azar dentro de la unidad experimental.

Para la determinación del rendimiento, dentro de cada unidad experimental, se tomaron al azar parcelas de 1.52 m de ancho por 2 m de longitud. La información de las características cuantificadas se analizó con base en un diseño de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas, donde la parcela grande fue para los métodos de siembra y la parcela chica los genotipos. Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS versión 8 (SAS Institute, 1999) y cuando se detectó significancia entre tratamientos, se aplicó la prueba DMS, 0.05.

Para calcular la reducción del rendimiento por efecto del estrés hídrico se utilizó la siguiente ecuación (Acosta *et al.*, 2011):

$$\text{Reducción} = [1 - (T_i/T + RS_i)] * 100$$

The land was prepared in both experiments with multirow step to break the soil without inverting and screened before sowing. The sowing was done with a mechanical experimental seeder prototype designed by the Mechanization Program of the Experimental Field Pabellón, Aguascalientes. With this seeder we set the methods at different distances between rows in both humidity conditions. One seed was deposited every 14 cm in all cases to establish population densities considered in the study.

In order to achieve the highest distribution and uptake of rainwater *in situ* available for cultivation and to reduce the runoff surface in the rainfed experiment, we implemented the roller practices "aqueel" and "pileteo"; practices described by Osuna *et al.* (2012).

During the growing season we quantified the phenological characteristics: number of days to flowering and physiological maturity. At harvest, we quantified the number of pods per plant (average of 10 plants taken at random within the central rows and planting methods) and weight of 100 seeds. The number of plants m^{-2} was determined by dividing the number of plants present in the rows harvested from the corresponding area. All plant variables were recorded in five segments of 2m furrows at random within the experimental unit.

To determine the yield, within each experimental unit were randomly selected plots of 1.52 m wide by 2 m long. The information was analyzed quantifying the characteristics based on a randomized block design with split plot arrangement, where the big plot was for the methods and the small one for the genotypes. Data were analyzed with SAS version 8 (SAS Institute, 1999) and when significance was detected between treatments, the LSD test was applied, 0.05.

To calculate the yield reduction by water stress effect we used the following equation (Acosta *et al.*, 2011):

$$\text{Reduction} = [1 - (T_i/T + RS_i)] * 100$$

Where: reduction= (%) yield reduction, T_i = grain yield of the i-th genotype in water stress conditions or rainfed $T + RS_i$ = grain yield of the i-th genotype without water stress or supplemental irrigation.

The drought susceptibility index (ISS), which is an indicator of the intrinsic ability to overcome genotype water stress was calculated according to the methodology defined by Fisher and Maurer (1978):

Donde: reducción= (%) de reducción del rendimiento; T_i = rendimiento de grano del *i*-ésimo genotipo en condiciones de estrés hídrico o temporal; $T+RS_i$ = rendimiento de grano del *i*-ésimo genotipo sin estrés hídrico o con riego suplementario.

El índice de susceptibilidad a la sequía (ISS), que es un indicador de la habilidad intrínseca del genotipo para superar el estrés hídrico, se calculó de acuerdo con la metodología definida por Fisher y Maurer (1978):

$$ISS = [1 - (T_i / T + RS_i)] / IIS$$

Donde: ISS= índice de susceptibilidad a la sequía de cada genotipo; T_i = rendimiento de grano del *i*-ésimo genotipo en condiciones de estrés hídrico o temporal; $T+RS_i$ = rendimiento de grano del *i*-ésimo genotipo sin estrés hídrico o con riego suplementario.

IIS es el índice de intensidad de la sequía y se calculó con la siguiente expresión:

$$IIS = (R_t / R_r) * 100$$

Donde: R_t = rendimiento promedio de grano de todos los genotipos en condiciones de estrés o temporal; R_r = rendimiento promedio de grano de todos los genotipos en condiciones de riego.

Resultados y discusión

El ciclo de cultivo para los genotipos pintos fue de 85 a 90 días y para flor de mayo y azufrado de 95 a 98 días. La lluvia ocurrida de la siembra a la madurez fisiológica (del 31 de julio a 31 de octubre y 08 de noviembre) fue de 140 y de 166 mm para los sitios de Pabellón y Sandoval, respectivamente. Del total de la lluvia, el 62.1 y 71.2% ocurrió en la etapa vegetativa, con lo que el cultivo dispuso sólo de 37.9 y 28.8% de la lluvia en las etapas que comprendieron la floración y llenado de grano en ambos sitios experimentales; esto indica una distribución errática para las necesidades del cultivo. En cuanto al riego suplementario, para el sitio Pabellón, se aplicaron dos riegos de auxilio con una lámina aproximada de 5 cm cada uno durante la formación de vaina y el llenado de grano.

$$ISS = [1 - (T_i / T + RS_i)] / IIS$$

Where: ISS= drought susceptibility index of each genotype, T_i = grain yield of the *i*-th genotype in water stress conditions or rainfed $T+RS_i$ = grain yield of the *i*-th genotype with no water stress or with supplemental irrigation.

IIS is the index of drought intensity and calculated with the following expression:

$$IIS = (R_t / R_r) * 100$$

Where: R = average grain yield of all genotypes under stress conditions or rainfed R_r = average grain yield of all genotypes under irrigated conditions.

Results and discussion

The growing season for pinto genotypes was 85-90 days and for Flor de Mayo and Azufrado of 95-98 days. The rain occurred from sowing to physiological maturity (July 31 h to October 31th and November 8th) was 140 and 166 mm for Pabellón and Sandoval, respectively. The total rainfall, 62.1 and 71.2% occurred in the vegetative stage, thus growing only ordered 37.9, and 28.8% of the rain on the steps included the flowering and grain filling in both experimental sites, indicating erratic distribution for crop needs. As for supplementary irrigations for Pabellón is applied in two irrigations with foil about 5 cm each during pod formation and grain filling.

Yield and its components

The results of the analysis of variance (data not presented) showed differences ($p < 0.01$) between methods of sowing and genotypes for yield and its components in both humidity conditions.

Under rainfed conditions plus supplementary irrigations, three genotypes had a longer maturity cycle; Flor de Mayo Eugenia, Flor de Mayo Dolores and Azufrado-2, with 95 and 98 respectively, these were the slowest in the three planting methods. In rainfed with intermittent drought in most genotypes was similar at physiological maturity. The genotypes that reached maturity first were all the Pintos

Rendimiento y sus componentes

Los resultados del análisis de varianza (información no presentada) mostraron diferencias ($p < 0.01$) entre métodos de siembra y genotipos para el rendimiento y sus componentes en ambas condiciones de humedad.

Bajo condiciones de temporal más riego suplementario, tres genotipos presentaron un ciclo de madurez más largo; Flor de Mayo Eugenia, Flor de Mayo Dolores y Azufrado-2, con 95 y 98 d respectivamente, fueron los más tardíos en los tres métodos de siembra. En temporal con sequía intermitente la mayoría de genotipos fue similar en madurez fisiológica. Los genotipos que alcanzaron primero la madurez fueron todos los pintos con 85 d en promedio. Una madurez más temprana puede representar un mecanismo de escape a la sequía (White y Singh, 1991) y una oportunidad de producción para aquellos ambientes de humedad limitativa, como es la región del semiárido, donde se presentan periodos alternos de humedad y sequía con duraciones variables.

Se encontró diferencia ($p < 0.01$) entre métodos de siembra en ambas condiciones de humedad. En condiciones de secano más riego suplementario, el rendimiento más alto de frijol se obtuvo con el método de siembra en cama con seis hileras, superando a los otros dos métodos de siembra sencilla y de tres hileras. Los rendimientos promedio a través de los genotipos fueron de 2.94, 2.18 y 1.72 t ha⁻¹ de grano respectivamente en el análisis combinado. La diferencia representa un incremento de 71% a favor de la siembra en cama con seis hileras (Cuadro 1). En condiciones de temporal el mismo método de siembra a seis hileras presentó el mayor rendimiento, cuya diferencia representó un incremento 61%. El rendimiento varió ($p < 0.01$) entre condiciones de humedad y entre genotipos. Con temporal más riego suplementario se obtuvo un rendimiento promedio superior al obtenido con estrés de humedad o temporal deficiente (Cuadro 1).

También se observó que la interacción método de siembra de temporal más riego suplementario x genotipo fue significativa, ya que la respuesta al método de siembra a seis hileras, combinado con el factor genotipo, produjo los más altos rendimientos de grano, siguiendo en orden decreciente el método de tres hileras y finalmente el hilera sencilla; mientras que en la condición de temporal no hubo interacción en ambos factores.

with 85 d on average. An earlier maturity may represent an escape mechanism to drought (White and Singh, 1991) and a production opportunity for those environments of limited humidity, such as the semi-arid region, where there are alternating periods of humidity and drought with variable durations.

Difference was found ($p < 0.01$) between sowing methods in both humidity conditions. Under rainfed conditions plus supplementary irrigation, the highest yield was obtained with beans planting method in bed with six rows, beating the other two methods, with simple and three rows. Average yields across the genotypes were 2.94, 2.18 and 1.72 t ha⁻¹ grain respectively in the combined analysis. The difference represents an increase of 71% in favor of planting beds with six rows (Table 1). In rainfed conditions the same method of sowing six rows gave the highest yield, the difference represented a 61% increase. The yield varied ($p < 0.01$) between humidity and between genotypes. With rainfed plus supplementary irrigations, the yield was higher than that obtained with average moisture stress or poor rainfed (Table 1).

We also found that, the interaction between the sowing rainfed plus supplemental irrigation and the genotype was quite significant, considering that the response to the method of sowing six rows, combined with the genetic factor, produced the highest yields of grain, followed in decreasing order the method with three rows and finally the single row; while in the rainfed condition, there was no interaction in both factors.

The moisture deficit reduced the production of pods regardless of the method of planting and genotype, decreasing on average 42.3%, observing less decreasing in the method of sowing in a single row, compared with the methods with three and six rows. Regarding the seed's weight, differences were detected ($p < 0.01$) between the methods. The impact of water stress was higher in the methods with six and three rows with respect to the traditional (9.1, 6.7 and 2.8%, respectively). In addition, water stress decreased grain yield and yield declined 60% on average, compared to rainfed production with supplemental irrigation (Table 1). Considering the comparison of the drought intensity index (IIS), its shown that yield was affected in equal intensity in all three methods.

Cuadro 1. Rendimiento de frijol (t ha⁻¹) en tres métodos de siembra bajo temporal y temporal más riego suplementario en Aguascalientes, México. 2012.**Table 1. Bean yield (t ha⁻¹) in three sowing methods under rainfed and rainfed with a supplementary irrigation in Aguascalientes, Mexico. 2012.**

Métodos de siembra	Condición de humedad		Media	IIS (%) ^{II}	ISS [‡]
	T+RS [†]	T [†]			
	Número de vainas m ⁻²				
Hilera sencilla	155.7 c	103.5 b	108.2	37.1 b	1.00
Tres hileras	199.8 b	117.7 b	147.7	45.2 a	1.00
Seis hileras	256.5 a	146.3 a	187.7	44.5 a	1.00
Media	204.00	122.5	147.8	42.3	1.00
DMS ₀₅	98.066	142.668	--	30.707	NS
	Peso de 100 semillas (g)				
Hilera sencilla	29.6 a	28.9	29.3	2.8 b	1.00
Tres hileras	29.1 a	27.7	28.4	6.7 a	0.99
Seis hileras	27.8 b	27.6	27.7	9.1 a	1.00
Media	28.8	28.1	28.5	6.20	1.00
DMS ₀₅	0.6118	NS	--	30.297	NS
	Rendimiento (t ha ⁻¹)				
Hilera sencilla	1.72 c	0.71 c	1.22	60.5	0.98
Tres hileras	2.18 b	0.93 b	1.56	59.7	1.00
Seis hileras	2.94 a	1.14 a	2.04	60.6	1.01
Media	2.28	0.93	1.61	60.3	1.00
DMS ₀₅	0.1426	0.0527	--	NS	NS

[†]temporal más riego suplementario; [†]temporal; ^{II}índice de intensidad de la sequía. [‡]índice de susceptibilidad a la sequía.

El déficit de humedad redujo la producción de vainas, independientemente del método de siembra y genotipo, pues en promedio disminuyó 42.3%, observándose menor decremento en el método de siembra a hilera sencilla, en comparación con los métodos de siembra a tres y seis hileras. Respecto al peso de semilla, se detectaron diferencias ($p < 0.01$) entre métodos de siembra. El impacto del estrés hídrico fue mayor en los métodos de siembra de seis y tres hileras con relación al tradicional (9.1, 6.7 y 2.8%, respectivamente). Además, el estrés hídrico disminuyó la producción de grano y el rendimiento decayó 60% en promedio, respecto a la producción de temporal más riego suplementario (Cuadro 1). La comparación del índice de intensidad de sequía (IIS) muestra que el rendimiento fue afectado en igual intensidad en los tres métodos de siembra.

Con relación al rendimiento (Cuadro 1), los análisis realizados por condición de humedad, presentan diferencias ($p < 0.01$), independientemente de los

Regarding the yield (Table 1), the analysis performed by moisture condition, differ ($p < 0.01$), regardless of the methods of sowing and genotypes used, showing a tendency to increase from rainfed to rainfed with a supplementary irrigation. In both humidity conditions, the yield was statistically superior when using six rows, surprising the treatments with three and a single row. In the rainfed condition of irrigation, the average yield was higher than the rainfed condition, with 60% performance loss, from the optimum condition (T+RS) a limiting condition (T).

It was notable that sowing with six rows, in both conditions, represented the highest yield (Table 1). This verifies shortest distance between lines and the increase in the density of the ground cover plant and increased energy capture from the early stages of the culture, regardless of the condition of humidity, which is reflected in the yield itself. The productive cultivation for the treatment of high plant density was similar to that described by Alves *et al.* (2008) and Osuna *et al.* (2012).

métodos de siembra y genotipos, al mostrar una tendencia a incrementar de temporal a temporal más riego. En ambas condiciones de humedad el rendimiento fue estadísticamente superior en el tratamiento de seis hileras, superando a los tratamientos de tres e hilera sencilla. En la condición de temporal más riego, el rendimiento promedio fue mayor que la condición de temporal, con pérdida de rendimiento 60%, al pasar de la condición óptima (T+RS) a condición limitativa (T).

Fue notable que la siembra a seis hileras, en ambas condiciones, presentara el mayor rendimiento (Cuadro 1). Lo anterior comprueba menor distancia entre líneas e incremento de la densidad de planta se cubre el suelo y captura mayor energía desde etapas tempranas del cultivo, independientemente de la condición de humedad, lo cual se reflejó en el rendimiento. La respuesta productiva del cultivo para el tratamiento de alta densidad de planta fue similar a lo descrito por Alves *et al.* (2008) y Osuna *et al.* (2012).

El índice de susceptibilidad a la sequía (ISS) calculado para los diferentes métodos de siembra a través de los genotipos mostró un valor promedio general de 1, lo cual indica que el rendimiento y sus componentes fueron afectados en igual intensidad en los tres métodos de siembra.

A través de métodos de siembra el rendimiento promedio de los diez genotipos resultó 64.5% más bajo en condiciones de humedad limitativa o temporal (Cuadro 2). El análisis combinado del rendimiento bajo temporal mostró un efecto significativo entre genotipos y sólo un genotipo resultó sobresaliente bajo estas condiciones de sequía. Lo anterior muestra la importancia de la adaptación específica o efecto de la interacción genético-ambiental. A la fecha no se ha tomado ventaja de la adaptación específica en el desarrollo de genotipos de frijol para temporal deficiente en fechas tardías, la precocidad de los materiales y altas densidades de plantas.

En cuanto al efecto del índice de intensidad a sequía (IIS), se observaron diferencias ($p < 0.01$) entre genotipos. Se identificaron tres grupos que no presentaron diferencias significativas entre sus integrantes, pero entre grupos si existió. El primer grupo con IIS más alto fue el de Pinto Centauro, Pinto Libertad, Pinto Centenario y Flor de Mayo Bajío; el segundo grupo incluyó a Pinto Saltillo, Pinto Bravo y Pinto Coloso y el tercer grupo con los IIS más bajos estuvo formado por Flor de Mayo Dolores, Flor de Mayo Eugenia y Azufrado 2 (Cuadro 2).

The drought susceptibility index (ISS) calculated for different sowing methods through genotypes showed a general average value of 1, which indicates that the yield and its components were affected to the same intensity in all three methods.

Through the study of the sowing methods, the average yield of the ten genotypes was 64.5% lower in wet conditions or rainfed limitation (Table 2). The combined analysis of yield under time showed a significant effect between genotypes and only one genotype was outstanding under these drought conditions. This shows the importance of specific adaptation or effect of gene-environment interaction. Up to this date it has not taken advantage of specific adaptation in developing bean genotypes to deficient rainfed in late dates, earliness of the materials and high plant density.

As for the effect of the drought intensity index (IIS), there were differences ($p < 0.01$) between genotypes. We identified three groups that did not differ significantly among its members, but between groups if existed. The first group with the highest IIS was Pinto Centauro, Pinto Libertad, Pinto Centenario and Flor de Mayo Bajío; the second group included Pinto Saltillo, Pinto Bravo and Pinto Coloso and the third group with lowest IIS consisted of Flor de Mayo Dolores, Flor de Mayo Eugenia and Azufrado 2 (Table 2).

Cuadro 2. Rendimiento promedio ($t\ ha^{-1}$) de diez genotipos de frijol bajo temporal y temporal más riego suplementario en Aguascalientes, México. 2012.
Table 2. Average yield ($t\ ha^{-1}$) of ten bean genotypes under rainfed and rainfed plus supplementary irrigation in Aguascalientes, Mexico. 2012.

Variedades	Rendimiento ($t\ ha^{-1}$)			IIS (%) ^{II}	ISS [‡]
	T+RS [†]	T [†]	Media		
Pinto Centauro	2.70 a	0.92 bc	1.81	64.8 a	1.07
Pinto Libertad	2.65 a	0.93 bc	1.79	62.9 ab	1.04
Pinto Centenario	2.55 abc	0.97 b	1.76	61.3ab	1.02
Pinto Saltillo	2.61 ab	1.06 a	1.84	58.6 bc	0.97
Pinto Bravo	2.27 cd	0.93 bc	1.60	58.5 bc	1.01
Pinto Coloso	2.19 d	0.89 bc	1.54	58.9 bc	0.98
F.de Mayo Bajío	2.34 bcd	0.87 cd	1.61	62.3 ab	0.99
F. de Mayo Dolores	1.82 e	0.81 d	1.32	54.6 c	0.91
F. de Mayo Eugenia	1.89 e	0.83 d	1.36	56.1 c	0.92
Azufrado-2	1.76 e	0.80 d	1.28	54.5 c	0.90
Media	2.28	0.81	1.59	59.3	0.98
DMS ₀₅	0.2982	0.0801	--	56.485	NS

[†]temporal más riego suplementario; [†]temporal; ^{II}índice de intensidad de la sequía.
[‡]índice de susceptibilidad a la sequía.

La reducción de rendimiento por falta de humedad fue evidente en todos los genotipos, pero fue más severa en Pinto Centauro. La mayoría de los genotipos presentaron moderada tolerancia al estrés por sequía, debido a que obtuvieron índices de susceptibilidad menores a uno, excepto Pinto Centauro, Pinto Libertad, Pinto Centenario y Pinto Bravo que superaron la unidad (Fisher y Maurer, 1978). Los resultados de los índices utilizados fueron similares a los obtenidos por Rosales *et al.* (2000); López *et al.* (2008); Padilla *et al.* (2011), quienes sugirieron la utilización combinada de un índice relacionado con la reducción del rendimiento (ISS).

El método de siembra a hilera sencilla bajo temporal no mostró diferencia ($p < 0.01$), y el rendimiento promedio de los genotipos fue de 0.69 t ha^{-1} . Fue drástica la reducción de rendimiento en todos los genotipos. Con excepción del material Flor de Mayo Bajío, los genotipos de ciclo intermedio fueron los menos afectados por la sequía, con reducciones menores de 60% de su producción (Cuadro 3). Los resultados observados con el índice de susceptibilidad a la sequía muestran el mismo comportamiento de afectación desde el punto de vista estadístico.

En el método de siembra a tres hileras bajo temporal el rendimiento promedio fue de 0.91 t ha^{-1} , con fluctuación de 0.81 en el Azufrado-2 a 1.12 en el genotipo Pinto Saltillo. Al igual que el método de siembra a hilera sencilla se observa una drástica reducción de rendimiento en todos los genotipos, respecto a la producción de temporal más riego suplementario. Sólo dos materiales intermedios (Flor de Mayo Eugenia y Azufrado-2) fueron menos afectados por la sequía, con reducción menor de 50% de su producción (Cuadro 4).

En el método de siembra a seis hileras, bajo temporal, los rendimientos resultaron superiores a los obtenidos en los otros dos métodos de siembra (tres e hilera sencilla); el máximo fue para Pinto Saltillo con 1.29 t ha^{-1} , mientras que el mínimo fue para los materiales intermedios Flor de Mayo Dolores y Azufrado-2 con 0.92 t ha^{-1} (Cuadro 5). Los rendimientos de la mayoría de los genotipos de clase pinto, en los tres métodos de siembra confirmaron la adaptación de los genotipos a las condiciones de temporal deficiente de la región. Su adaptación resultó en rendimientos aceptables, tanto en siembras de baja densidad como con alta densidad de plantas bajo condiciones de temporal (Osuna *et al.*, 2012). Esto, debido posiblemente al efecto positivo de la cobertura vegetal que produjeron los métodos de siembra con alta densidad de población. En las parcelas con tres y seis hileras se conservó mejor la humedad

Yield reduction due to the lack of moisture was rather evident in all genotypes, but it was even more severe in Pinto Centauro. Most genotypes showed moderate tolerance to drought stress because of the susceptibility indices were less than one, except for Pinto Centauro, Pinto Libertad, Pinto Bravo and Pinto Centenario which exceeded the unit (Fisher and Maurer, 1978). The results of the indices used were similar to those obtained by Rosales *et al.* (2000), López *et al.* (2008), Padilla *et al.* (2011), who suggested the combined use of an index related to the reduction in yield (ISS).

The method of single row under rainfed, showed no difference ($p < 0.01$), and the average yield of genotypes was 0.69 t ha^{-1} , drastically reducing the yield in all the genotypes. With the exception of Flor de Mayo Bajío, the intermediated cycle genotypes were the least affected by drought, with reductions of less than 60% of its production (Table 3). The results observed with the index of drought susceptibility showing the same behavior of involvement from the statistical point of view.

Cuadro 3. Rendimiento promedio (t ha^{-1}) de diez variedades de frijol bajo temporal y temporal más riego suplementario en siembra a hilera sencilla, Aguascalientes, México. 2012.

Table 3. Average yield (t ha^{-1}) of ten bean varieties under rainfed and rainfed plus supplementary irrigation in a single row sowing, Aguascalientes, Mexico. 2012.

Variedades	Rendimiento (t ha^{-1})				
	T+RS [†]	T [‡]	Media	IIS (%) [¶]	ISS [‡]
Pinto Centauro	1.86 ab	0.67	1.27	63.9	1.08
Pinto Libertad	1.82 ab	0.75	1.29	58.8	1.00
Pinto Centenario	1.73 ab	0.72	1.23	58.4	0.99
Pinto Saltillo	1.99 a	0.78	1.39	60.8	1.03
Pinto Bravo	1.82 ab	0.67	1.25	63.2	1.07
Pinto Coloso	1.80 ab	0.70	1.25	61.1	1.03
F.de Mayo Bajío	2.03 a	0.69	1.36	66.0	1.12
F. de Mayo Dolores	1.44 bc	0.67	1.06	53.5	0.92
F. de Mayo Eugenia	1.46 bc	0.66	1.06	54.8	0.93
Azufrado-2	1.21 c	0.60	0.91	50.4	0.85
Media	1.72	0.69	1.21	59.1	1.00
DMS ₀₅	0.5165	NS	--	NS	NS

[†]temporal más riego suplementario; [‡]temporal; [¶]índice de intensidad de la sequía.

[‡]índice de susceptibilidad a la sequía.

en el suelo y se interceptó mayor energía solar. El rápido sombreado del suelo por el follaje redujo la pérdida de agua por evaporación directa, asegurando así mayor eficiencia en su uso, comparado con baja densidad de plantas, aunado a la cosecha de agua de lluvia *in situ*.

In the method of sowing in three rows under rainfed conditions, the average time was 0.91 t ha⁻¹, with a fluctuation of 0.81 in Azufrado-2 to 1.12 in Pinto Saltillo. As well as in the method of sowing in a single row, a drastic reduction in yield it's shown in all the genotypes with respect to the

Cuadro 4. Rendimiento promedio (t ha⁻¹) de diez variedades de frijol bajo riego temporal y temporal más riego suplementario en siembra a tres hileras, Aguascalientes, México. 2012.

Table 4. Average yield (t ha⁻¹) of ten bean varieties under rainfed irrigation and rainfed plus supplementary irrigation in sowing with three rows, Aguascalientes, Mexico. 2012.

Variedades	Rendimiento (t ha ⁻¹)			IIS (%)	ISS [‡]
	T+RS [†]	T [†]	Media		
Pinto Centauro	2.46 a	0.93 b	1.70	62.2 a	1.09
Pinto Libertad	2.41 a	0.92 b	1.67	61.8 a	1.08
Pinto Centenario	2.62 a	0.92 b	1.77	64.9 a	1.14
Pinto Saltillo	2.65 a	1.12 a	1.89	57.7 b	1.01
Pinto Bravo	2.32 a	0.94 b	1.63	58.8 b	1.03
Pinto Coloso	2.25 a	0.86 bc	1.56	61.0 a	1.07
F.de Mayo Bajío	2.46 a	0.90 bc	1.68	63.0 a	1.11
F. de Mayo Dolores	1.72 b	0.82 c	1.27	52.3 b	0.92
F. de Mayo Eugenia	1.55 b	0.83 c	1.19	46.5 c	0.82
Azufrado-2	1.39 b	0.81 c	1.10	41.7 c	0.73
Media	2.18	0.91	1.55	57.0	1.00
DMS ₀₅	0.5165	0.0843	--	57.095	

[†]temporal más riego suplementario; [†]temporal; ^{||}índice de intensidad de la sequía. [‡]índice de susceptibilidad a la sequía.

Cuadro 5. Rendimiento promedio (t ha⁻¹) de diez variedades de frijol bajo riego temporal y temporal más riego suplementario en siembra a seis hileras, Aguascalientes, México. 2012.

Table 5. Average yield (t ha⁻¹) of ten bean varieties under rainfed irrigation and rainfed plus supplementary irrigation in sowing with six rows, Aguascalientes, Mexico. 2012.

Variedades	Rendimiento (t ha ⁻¹)			IIS (%)	ISS [‡]
	T+RS [†]	T [†]	Media		
Pinto Centauro	3.80 a	1.16 abc	2.48	69.5 a	1.10
Pinto Libertad	3.73 a	1.13 abc	2.43	69.7 a	1.11
Pinto Centenario	3.30 ab	1.25 ab	2.28	62.1 ab	0.99
Pinto Saltillo	3.18 bc	1.29 a	2.24	59.4 b	0.94
Pinto Bravo	2.68 cd	1.18 abc	1.93	56.0 b	0.89
Pinto Coloso	2.53 d	1.11 bcd	1.82	56.1 b	0.89
F.de Mayo Bajío	2.53 d	1.03 cd	1.78	59.3 b	0.94
F. de Mayo Dolores	2.30 d	0.92 d	1.61	60.0 ab	0.95
F. de Mayo Eugenia	2.65 d	0.95 d	1.80	64.2 ab	1.02
Azufrado-2	2.67 cd	0.92 d	1.80	65.5 ab	1.04
Media	2.94	1.09	2.02	62.9	0.99
DMS ₀₅	0.5165	0.1682	--	96.514	NS

[†]temporal más riego suplementario; [†]temporal; ^{||} índice de intensidad de la sequía. [‡]índice de susceptibilidad a la sequía.

Conclusiones

El método de siembra en camas con seis hileras en surcos estrechos tuvo el mayor rendimiento de grano bajo condiciones de temporal más riego suplementario y temporal deficiente. En ambas condiciones de humedad el rendimiento se incrementó por un mayor número de vainas cosechadas, aunque en temporal deficiente la cantidad de vainas afectó más el rendimiento de grano.

Los genotipos mostraron un incremento generalizado del rendimiento al pasar de hilera sencilla a seis hileras. Su adaptación resultó en rendimientos aceptables, tanto en siembras bajo condiciones de temporal más riego suplementario, como bajo temporal deficiente.

Todos los genotipos evaluados fueron moderadamente tolerantes a la sequía bajo las dos condiciones de humedad del cultivo, en los tres métodos de siembra, de acuerdo con la reducción de rendimiento e índice de susceptibilidad a la sequía.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero del Proyecto Sectorial SAGARPA-CONACYT S0007 2009-1 109621, titulado: “Desarrollo de variedades de frijol de alto rendimiento, tolerantes a sequía, resistentes a patógenos y con la calidad que demanda el consumidor”.

Literatura citada

- Acosta-Díaz, E.; Amador-Ramírez, M. D. y Acosta-Gallegos, J. A. 2003. Abcisión de estructuras reproductoras en frijol común bajo condiciones de secano. *Agric. Téc. Méx.* 29(2):155-168.
- Acosta-Díaz, E.; Hernández-Torres, I.; Rodríguez-Guerra, R.; Acosta-Gallegos, J. A.; Pedroza-Flores, J.; Amador-Ramírez, M. D. y Padilla-Ramírez, J. S. 2011. Efecto de la sequía en la producción de biomasa y grano de frijol. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 2(2):249-265.
- Amador-Ramírez, M. D. y Acosta-Gallegos, J. A. 2003. Abcisión de estructuras reproductoras en frijol común bajo condiciones de secano. *Agric. Téc. Méx.* 29 (2) 155-168.
- Acosta-Díaz, E.; Trejo-López, C.; Ruiz-Posada L. M.; Padilla-Ramírez J. S. y Acosta-Gallegos J. A. 2004. Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva. *Terra Latinoamericana* 22:49-58.

rainfed production plus supplemental irrigation. Only two intermediate materials (Flor de Mayo Eugenia and Azufrado-2) were less affected by drought, with less than 50% reduction of its production (Table 4).

In the method of sowing with six rows, under rainfed, the yields were higher than those obtained in the other two methods (three and single row); the highest was for Pinto Saltillo with 1.29 t ha⁻¹, while the lowest was for intermediate materials Flor de Mayo Dolores and Azufrado-2 with 0.92 t ha⁻¹ (Table 5).

The yield of most of the genotypes from the class Pinto in the three sowing methods confirmed the adaptation of the genotypes to the deficient rainfall conditions in the region. Their adaptation resulted in acceptable yields, in both low and high plant density under rainfed conditions (Osuna *et al.*, 2012). This, possibly due to the positive effect of the plant cover made by the sowing methods with high population density. In the plots with three and six rows, we managed to preserve the moisture in the soil much better and also intercepted more solar energy. The fast shading by foliage reduced water loss by direct evaporation, ensuring its use, compared to the low plant density, coupled with rain water gathering *in situ*.

Conclusions

The sowing method in beds with six rows in narrow furrows had the highest grain yield under rainfed plus supplemental irrigation and poor rainfed conditions. In both humidity conditions, the yield increased by a higher number of harvested pods, although in poor rainfed, the number of pods affected even more the grain yield.

The genotypes showed a general increase in yield going from a single row to a six-row pattern. This adaptation resulted in acceptable yields for both kinds of sowing, under rainfed plus supplemental irrigation, as well as in poor rainfed conditions.

All genotypes were moderately tolerant to drought under both conditions, in the three sowing methods, according to the yield reducing and the drought susceptibility index.

End of the English version



- Acosta-Gallegos, J. A. 2008. Las variedades mejoradas de frijol de temporal para el altiplano de San Luis Potosí. P 81-95. *In*. Martínez, G. M. A.; Osuna C. E. S.; Padilla, R. J. S.; Acosta, G. J. A. y Loredo, O. C. Tecnología para la producción de frijol en el Norte-Centro de México. Campo Experimental San Luis CIRNE-INIFAP. Libro técnico Núm. 4. 206 p.
- Acosta-Gallegos, J. A.; Padilla-Ramírez, J. S.; Castellanos-Ramos J. Z. y Argaéz-Pérez, J. J. 1996. Época de siembra del frijol de riego en el Altiplano de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 19:131-140.
- Aguilar-Benítez, G.; Peña-Valdivia, C. B.; García-Nava, R. J.; Ramírez-Vallejo, P.; Gerardo Benedicto-Valdés, S. y Molina-Galán, J. D. 2012. Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicompost y déficit de humedad en el sustrato. *Agrociencia* 46:37-52.
- Alves, A. F.; Andrade M. J. B.; Viera, N. M. B. and Rezende, M. P. 2008. Grain yield of four new cultivars base don plant density. *Ann. Report Bean Improvement Cooperative.* 51:242-243.
- Celis-Velázquez, R.; Peña-Valdivia, C. B.; Luna-Cavazos, M. and Aguirre, J. R. 2010. Seed morphological characterization and reserves used during seedling emergency of wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 27:61-87.
- Fan, X.; Turner, G. N.; Yan, C.; Li, F. and Siddique, K. H. M. 2010. Flower numbers, pod production, pollen viability, and pistil function are reduction and flower and pod abortion increased in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought. *J. Exp. Bot.* 61:335-345.
- Fisher, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yields response. *Aust. J. Agric. Res.* 29:897-912.
- González-Ramírez, H. 2004. Economic evaluation of bean-research investment in Mexico. *Ann Rep. Bean Inprov. Coop.* 47:307-308.
- Ghassemi-Golezami, K.; Ghanehpour, S. and Mohammadi-Nasab, A. D. 2009. Effects of water limitation on growth and grain filling of faba bean cultivars. *J. F. Agric. Environ.* 7:442-447.
- Hiebsch, C. K.; Tetioi, K. F.; Chiremba, A. M. and Gardner, F. P. 1995. Plant density and soybean maturity-maize intercrop. *Agron. J.* 87:965-969.
- Liu, F.; Andersen, N. M. and Jensen, C. R. 2004. Root signal controls pod growth in drought-stressed soybean during the critical abortion-sensitive phase of pod development. *Field Crops Res.* 85:159-166.
- López, S. E.; Toskey 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(3):35-39.
- Medina, G. G.; Maciel, P. L. H.; Ruiz, C. J. A.; Serrano, A. V. y Silva, S. M. M. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Aguascalientes (periodo 1961-2003). INIFAP. Campo Experimental Pabellón, Fundación Produce, Aguascalientes. Libro técnico núm. 2. SAGARPA.
- Osuna-Ceja, E. S.; Reyes-Muro, L.; Padilla-Ramírez, J. S. y Martínez-Gamiño, M. A. 2012. Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal. *Rev. Mex. Cienc. Agr.* 3(7):1389-1400.
- Osuna-Ceja, E. S.; Padilla-Ramírez, J. S.; Martínez-Gamiño, M. A.; Martínez-Meza, E. y Acosta-Gallegos, J. A. 2007. Componentes tecnológicos y fórmulas integrales para el cultivo de frijol de temporal en el altiplano de México. Campo Experimental San Luis. CIRNE-INIFAP. San Luis Potosí, México. Folleto científico Núm. 1. 23 p.
- Padilla-Ramírez, J. S.; Acosta-Gallegos, J. A.; Osuna-Ceja, E. S.; Acosta-Díaz, E. y Martínez-Gamiño, M. A. 2008. Respuesta del frijol a la sequía. *In*. Martínez, G. M. A.; Osuna-Ceja, E. S.; Acosta-Gallegos, J. A. y Loredo, O. C. Tecnología para la producción de frijol en el Norte-Centro de México. Libro técnico Núm. 4. Campo Experimental San Luis CIRNE-INIFAP. 206 p.
- Padilla-Ramírez, J. S.; Osuna-Ceja, E. S.; Martínez-Gamiño, M. A. y Acosta-Gallegos, J. A. 2011. Rendimiento de grano de frijol bajo temporal y riego en dos fechas de siembra. *In*: memoria del XI Simposio Internacional y VI Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. San Luis Potosí, S. L. P. 1-6 pp.
- Peña-Valdivia, C. B.; Sánchez-Urdaneta, A. B.; Trejo, J. C.; Aguirre, R. R. and Cárdenas, R. 2005. Root anatomy of drought sensitive and tolerant maize (*Zea mays* L.) seedlings under water potentials. *Cer. Res. Comm.* 33(4):705-712.
- Rincón, C. A. y Cabrera-de Bisbal, E. 1997. Índice de susceptibilidad a la sequía de tres variedades de ajonjolí. *Agron. Trop.* 47(4):425-439.
- 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.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 1999. SAS. user's guide. Statistics. Version 8. SAS Inst., Cary, NC. USA. Quality, and elemental removal. *J. Environ. Qual.* 19:749-756.
- Uresti, G. J. 2000. Parámetros fisiológicos del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) usados en el modelo de simulación. Efecto de la densidad de población y arreglo espacial de plantas 59-100 p. Capítulo III. Tesis de Doctorado. Programa de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. 251 p.
- White, J. W. and Singh, S. P. 1991. Breeding for adaptation to drought. *In*: common beans: Research for Crop Improvement. van Schoonhoven, O. and Voysey, P. (Eds.). CABIT-CIAT. Cali Colombia. 501-560 pp.